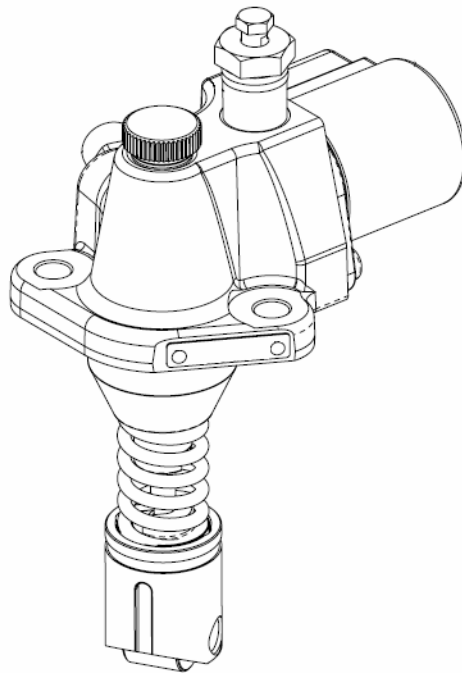


# Diseño de la secuencia de montaje de una bomba de alta presión



Albert Nasarre Cirac  
ETNPS  
2010-11



Facultat de Nàutica de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



## **Índice**

1. Introducción	5
2. Lean manufacturing	7
2.1. ¿Qué es?	7
2.2. Metodología	8
2.2.1. Principios básicos de una organización lean	9
2.2.2. Aspectos organizativos y tecnológicos	13
2.3. Herramientas básicas de un sistema productivo Lean	18
3. Elaboración de la línea de montaje	26
3.1. Descripción del producto	26
3.1.1. Elementos principales	26
3.1.2. Funcionamiento	27
3.2. Secuencia de fabricación	30
3.3. Mapa de conexiones	35
3.4. Layout	36
3.4.1. Especificaciones y requisitos	37
3.4.1.1. OP 100 Sub-montaje HP Outlet connector	37
3.4.1.1.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa	47
3.4.1.1.2. Flujo del proceso	48
3.4.1.2. OP 200 Pre-montaje housing	48
3.4.1.2.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa	53
3.4.1.2.2. Flujo del proceso	54
3.4.1.3. OP 300 Sub-montaje housing	54
3.4.1.3.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa	64
3.4.1.3.2. Flujo del proceso	64
3.4.1.4. OP 400 Lavado	65
3.4.1.4.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa	70
3.4.1.4.2. Flujo del proceso	70
3.4.1.5. OP 500 Montaje IMV	71
3.4.1.5.1. Configuración de la fijación en estación	73
3.4.1.5.2. Configuración del pallet	73
3.4.1.5.3. Flujo del proceso	73
3.4.1.6. OP 600 Matching	74
3.4.1.6.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa	84
3.4.1.6.2. Flujo del proceso	85
3.4.1.7. OP 700 Test funcional	85
3.4.1.7.1. Configuración de la fijación en estación	86
3.4.1.7.2. Configuración del pallet	87
3.4.1.7.3. Flujo del proceso	88
3.4.1.8. OP 800 Fases finales	88
3.4.1.8.1. Configuración del pallet	94

3.4.1.8.2. Flujo del proceso	94
3.4.1.9. OP 900 Lavado de pallets	94
3.4.1.9.1. Flujo del proceso	95
3.4.2. Trazabilidad	96
3.4.3. Rechazo de componentes	97
3.5. Work combination table	99
4. Ergonomía	102
4.1. Metas y beneficios de la ergonomía	103
4.2. Ambiente en el lugar de trabajo	104
4.2.1. Luz	104
4.2.2. Ruído	107
4.2.3. Ayudas visuales, etiquetas y señales	107
4.3. Interfase del operador	110
4.3.1. Movimiento repetitivo	110
4.3.2. Repetitividad, fuerza y lesión	111
4.3.3. Fuerzas	111
4.3.4. Posturas	114
4.4. Diseño del lugar de trabajo	116
4.4.1. Estación de trabajo de pie	117
4.4.2. Estación de trabajo pie-sentado	119
4.4.3. Estación de trabajo sentado	120
4.4.4. Envolvente en estación de trabajo de pie o pie-sentado	121
4.4.5. Supermercados	122
4.4.6. Altura dispensadores	123
5. Estudio económico	125
6. Conclusiones	127
7. Bibliografía	129
8. Anexos	
8.1. Anexo 1	
8.2. Anexo 2	
8.3. Anexo 3	
8.4. Anexo 4	
8.5. Anexo 5	



## **1. Introducción**

Desde años inmemoriales la fabricación de productos ha sido un proceso elaborado en el cual han intervenido distintos factores. Si hablamos de los inicios de la producción en cadena o producción en serie, podemos decir que fue un proceso revolucionario basado en un sistema de producción eficiente el cual delegaba a cada trabajador una función. En cada puesto de trabajo, los trabajadores realizaban la misma actividad repetidamente con productos semielaborados. De este modo se completaban muchas más unidades al día que si un trabajador se dedicara a realizar una pieza completamente desde el principio hasta el final.

Actualmente, la automatización ha llegado a los procesos productivos haciendo que la fabricación de productos sea más completa y más precisa, razón por la cual, se muestran distintas ventajas que ofrece la automatización de los procesos de producción:

- Mejora de la productividad en la empresa, reduciendo costes de producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejora de las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando su seguridad.
- Facilidad en la comprobación de los distintos procesos haciendo uso de sensores y controles por cámara.
- Mejora de los tiempos y disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso. Se determina el número de piezas a fabricar por día para cumplir el plazo de entrega.
- Aumento notable del rendimiento de la planta.

Todos estos atributos son solo algunos de los que brinda la automatización, ya que esta, ha permitido un gran avance, en cuanto a las cadenas de producción se refiere, a lo largo de muchos años y por tanto causante de la constante evolución en el mercado de consumo.

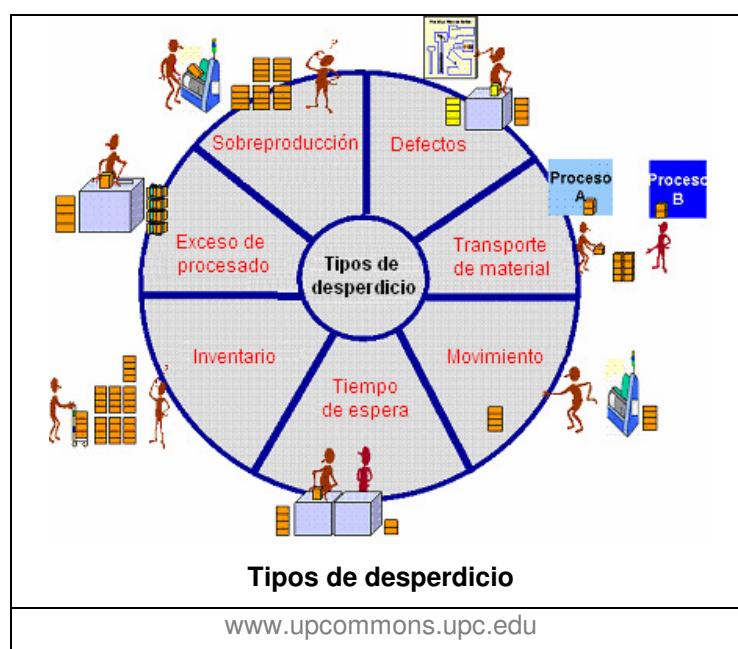
En cuanto al proyecto en si se refiere, nace de las ganas de aprender en este campo de la ingeniería sumado al apoyo ofrecido por una empresa externa, el cual me ha permitido ver de primera mano el funcionamiento de distintas líneas de producción y facilitado toda la información necesaria para poder diseñar una. Es por ello que se va a tratar de diseñar una línea de montaje de una bomba inyectora de alta presión. Para ello, se empezará describiendo una de las estrategias de producción más utilizadas en la actualidad conocida como Lean Manufacturing. Una vez conocida la metodología y las herramientas Lean, se iniciará la línea de montaje de la bomba empezando por una breve descripción, tal como elementos principales y funcionamiento, seguido de la secuencia de montaje de los distintos componentes, el mapa de conexiones y el diseño. Este último, incluirá la especificación de las distintas máquinas, definiendo los requisitos para el montaje de la bomba. Una vez diseñada la línea se realizarán las distintas tablas de trabajo, dónde se especificará el trabajo a realizar por cada uno de los operarios que trabaje en la línea. Sabiendo la importancia que tiene una buena calidad del producto una vez terminado, es importante que los operarios trabajen en un entorno de trabajo adecuado a las condiciones de trabajo. Es por ello, que se dedicará un apartado a la ergonomía, marcando las pautas necesarias para que el trabajador se sienta cómodo en el puesto de trabajo. Para acabar, se mostrará un breve estudio económico para tener una idea de la inversión necesaria para implementar una línea de montaje en cadena y por último, unas conclusiones, dónde se comentarán los resultados obtenidos, así como, los distintos obstáculos encontrados a lo largo de la elaboración de este proyecto.

## 2. Lean manufacturing

Para el diseño de una línea de producción son muchos factores los que hay que tener en cuenta como el número de piezas a producir, el número de operarios, los tiempos de ciclo (trabajo) de las máquinas, etc. para obtener una producción óptima con los mínimos fallos posibles, ya que estos suponen pérdidas de tiempo que detienen la producción. Con objeto de eliminar o reducir todos estos factores, se creó un sistema llamado Lean Manufacturing. Este fue desarrollado por la empresa Toyota y es considerado como una estrategia de producción compuesta por varias herramientas cuyo objetivo es ayudar a eliminar todas las operaciones y procesos sin valor añadido, reduciendo o eliminando toda clase de desperdicios en un ambiente de respeto al trabajador.

### 2.1. ¿Qué es?

La Lean manufacturing (manufactura esbelta) es una filosofía de gestión enfocada a la reducción de desperdicios como son la sobreproducción, el tiempo de espera, el transporte de material, el exceso de procesado, el inventario, el movimiento y los defectos en los productos manufacturados. Eliminando el despilfarro, la calidad mejora y el tiempo de producción y el coste, se reducen.



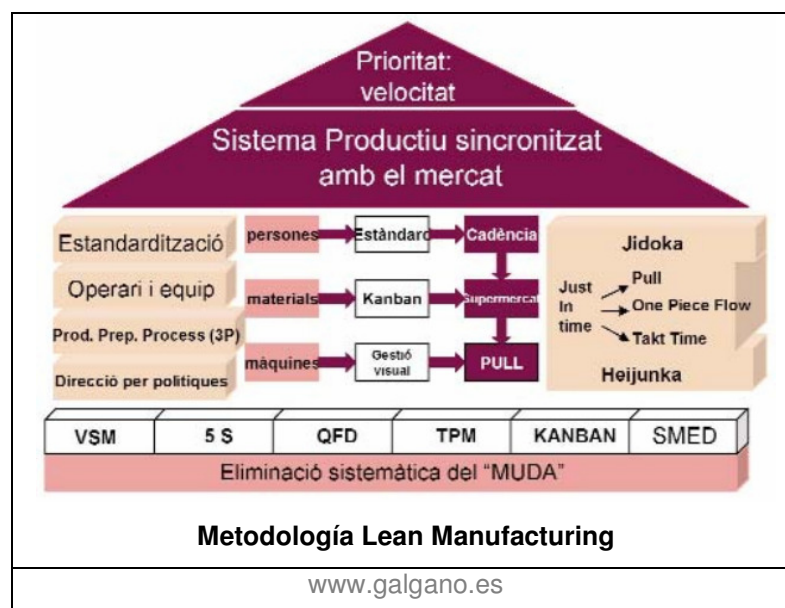
El objetivo principal es la mejora rápida y sostenida del sistema productivo, gracias a la eliminación sistemática de los residuos o derroches existentes en la organización. Este hecho permite producir de manera más eficiente y con un menor consumo de recursos. Además, se adopta la fabricación en grandes lotes para repartir los costes asociados (averías, paradas, etc.) que aumentan el coste final del producto optando por una producción de flujo continuo donde se fabrique en stocks mínimos i se eliminen los stocks intermedios. Consecuentemente el proceso productivo tendrá que ser perfecto, estableciendo mecanismos para eliminar cualquier posibilidad de fallo.

La implantación de un Sistema Productivo Lean es un proceso de cambio que supone:

- Priorizar el producto teniendo en cuenta aquellas actividades que le aporten valor desde el punto de vista del cliente
- Crear un sistema productivo sincronizado con el mercado, funcionando según la demanda de una manera fiable y flexible
- La mejora rápida entendida como una manera de obtener resultados en un periodo de tiempo corto

## 2.2. Metodología

La metodología a seguir se basa en una serie de principios, aspectos y técnicas que se resumen gráficamente en el esquema siguiente:



En la imagen se muestra el sistema de producción Lean liderada por dos de los aspectos fundamentales que rigen dicho sistema como son la velocidad en la acción y sincronismo con el mercado, aspectos que guían el funcionamiento de la organización de personas, materiales y maquinaria, situados en la parte central del esquema, y que contribuirán a establecer un sistema productivo que funcione según las necesidades del mercado.

Los dos pilares representan todos aquellos aspectos organizativos y técnicos con los que opera un sistema de Lean Manufacturing.

En cuanto a la base, se indican las seis técnicas principales que hacen que el sistema sea eficaz y que llevan al objetivo principal que es la eliminación sistemática de los desperdicios o residuos. A continuación se definen dichas técnicas:

- **VSM:** Value Stream Mapping, ayuda a visualizar los flujos del proceso y a definir la visión futura.
- **5S:** Orden y Limpieza, aporta un valor elevado a la visibilidad en el proceso de producción.
- **QFD:** Quality Function Deployment, traduce los requisitos del cliente en especificaciones del producto y el proceso.
- **TPM:** Total Productive Maintenance, ayuda a optimizar los equipos e instalaciones productivas.
- **KANBAN:** Constituye una forma eficiente de suministro de materiales a las líneas de producción.
- **SMED:** Single Minute Exchange Of Die, reduce el tiempo de cambio en una línea de producción permitiendo una reducción del tamaño de lote.

#### 2.2.1. Principios básicos de una organización Lean

En este apartado lo que se pretende es detallar los aspectos más relevantes comentados en el esquema anterior:

##### **a) La velocidad – Focalización en el tiempo**

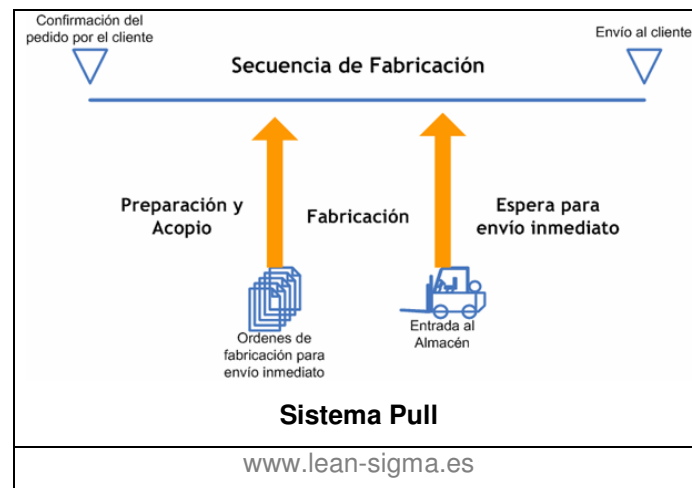
Para asegurar que el pedido de un cliente se sirve en el momento y en las cantidades requeridas, se puede optar por una producción contra stock, dónde existirá un inventario de productos acabados que aseguren el

suministro del producto i en consecuencia la satisfacción del cliente. Por el contrario, se puede trabajar sobre la base de un sistema productivo Lean que permite reducir los plazos de producción al nivel de los plazos de entrega. La prioridad absoluta del sistema ha de ser la velocidad de producción, aprovisionando al cliente cuando lo requiera, cosa que aumentará su satisfacción.

Esta velocidad funciona paralelamente a la demanda, trabajando con stocks intermedios reducidos, cosa que requiere un sistema de producción perfecto. Cabe resaltar que la velocidad de producción permite reducir el inventario y adaptarse continuamente al mercado.

### b) Sistema productivo sincronizado con el mercado

Se tiene que crear un sistema de trabajo en sintonía con el mercado para responder a sus variaciones con unas pérdidas mínimas para la organización. Todas las actividades productivas irán ligadas a la demanda real del mercado y, por lo tanto, todo aquello que entre en el sistema productivo será consecuencia inmediata de los pedidos reales que lleguen a la empresa (Sistema Pull).



El Sistema Pull radica en planificar solamente la producción que se va a enviar al cliente. Esto evita ocupar máquinas, equipos y personas en producciones cuya demanda no es inmediata. Además, al reducir el tamaño

Diseño de la secuencia de montaje de una bomba de alta presión  
de los lotes de fabricación, cualquier incidencia durante el proceso es inmediatamente detectada y resuelta.

**c) Las personas, el material y las maquinas como eje central de la organización**

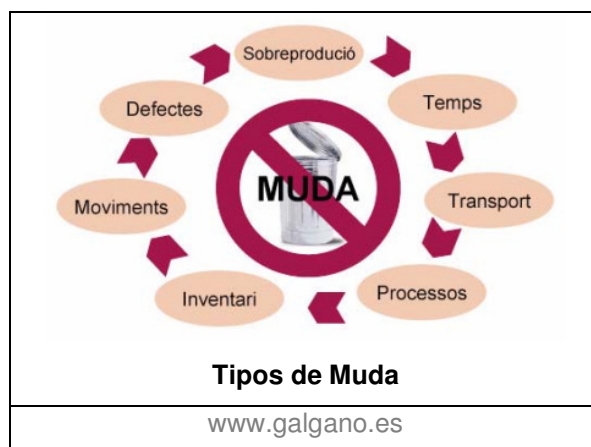
Es necesaria la estandarización del trabajo del personal para tener garantías de que las actividades se lleven a cabo dentro de los plazos establecidos. Además, los estándares de trabajo permiten controlar la calidad del proceso y del producto.

En cuanto al material, se trabajará sobre la base de la existencia de *supermercados*. Esto significa disponer de unos stocks mínimos de donde se pueda retirar el material cuando se requiera y se reponga solo cuando haya una señal de vaciado.

Gracias a la gestión visual de las líneas de producción, se podrá asegurar el flujo continuo del proceso y detectar cuellos de botella<sup>1</sup> que impidan que el sistema productivo funcione de una manera eficaz.

**d) Eliminación de derroches o Muda**

Teniendo en cuenta que la base de todo sistema de producción es la eliminación sistemática de los derroches, la clave fundamental de la metodología Lean, será la identificación y posterior eliminación de estos derroches o Muda<sup>2</sup>.



<sup>1</sup> En un proceso productivo, se entiende como una fase de la cadena de producción más lenta que otras que ralentiza el proceso de producción global.

<sup>2</sup> Se entiende como Muda cualquier actividad desarrollada para una empresa que consume recursos i no produce valor para el cliente.

En cuanto a estos términos se refiere:

- Sobreproducción: desecho que se produce cada vez que la producción no responde a la demanda ya que supone la producción de productos para los cuales no hay necesidad por parte del cliente.
- Tiempo: espacios de tiempo en el cual las maquinas o los trabajadores estén parados.
- Transporte: corresponde a todos los movimientos innecesarios para apilar, acumular, desplazar materiales.
- Procesos: se incluyen los procesos ineficientes o inútiles pero que muchas veces son aceptados como imprescindibles.
- Inventario o existencias: conjunto de materiales o productos que se almacenan sin una necesidad inmediata.
- Movimientos: movimientos improductivos que no aportan valor al proceso, ya sean demasiado lentos o demasiado rápidos.
- Defectos: se asocia a los costes que suponen estos defectos en el producto.

La eliminación sistemática de estos derroches contempla los aspectos siguientes:

- I. Conocer aquello que sucede en la organización mediante una gestión visual basada en un sistema de indicadores monitorizado con medidas de calidad, eficiencia, velocidad de procesos, cumplimiento de la entrega de los pedidos y medidas de valor añadido, que sirven para controlar la producción. Un buen sistema de indicadores tiene que incluir:

CALIDAD del proceso	FTT - First Time Through FPY - First Pass Yield	$FPY = \frac{\text{unidades iniciadas} - \text{fallidas en pruebas}}{\text{unidades iniciadas}} \times 100$
EFICIENCIA del proceso	OEE - Overall Equipment Efficiency	$OEE = \frac{\text{unidades fabricadas}}{\text{capacidad fabricación a velocidad nominal máx.}} \times 100$
VELOCIDAD del proceso	DTD - Dock to Dock	$DTD = \frac{\text{inv. mat. prima} + \text{inv. en curso} + \text{inv. prod. acabado}}{\text{demanda media del cliente}} \times 100$
ENTREGA de pedidos	CLIP - Committed Lead Time Item Performance	$CLIP = \frac{\text{líneas de pedidos cumplidos y en fecha}}{\text{líneas de comandos libres}} \times 100$
Medida de VALOR	RVA - Ratio de valor añadido	$RVA = \frac{\text{tiempo de valor añadido del proceso}}{DTD} \times 100$



- II. Identificar el flujo de valor de Producto como punto de partida en la “búsqueda de la Muda”. Este flujo será el conjunto de todas las acciones específicas requeridas para producir un bien o un servicio pero que aportan valor al producto desde el punto de vista del cliente. Esto significa que habrá que diferenciar las actividades que crean valor y las que no para poder identificar la Muda y así estudiar la eliminación del proceso.
- III. Desarrollar un cambio organizativo que autogestione el cambio hacia la mejora continua y que potencie el trabajo en equipo.

### 2.2.2. Aspectos organizativos y tecnológicos

Tal y como se ha mostrado anteriormente la filosofía Lean se basa en dos pilares totalmente diferenciados, el cual se van a explicar a continuación:

#### **a) Aspectos tecnológicos:**

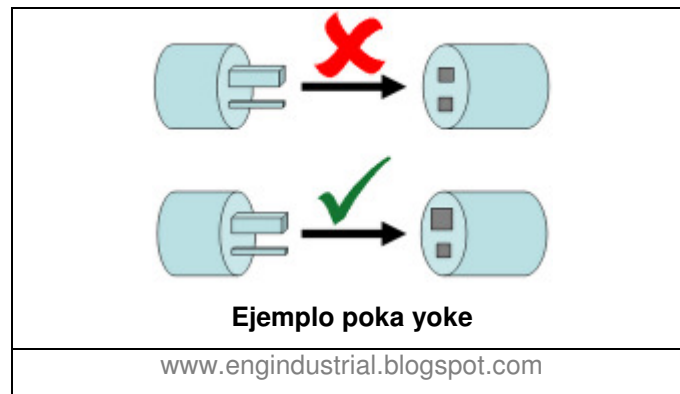
##### *I. Jidoka*

Jidoka (automatización con un toque humano) es un término que en el sistema Lean se puede resumir como la verificación de la calidad integrada en el proceso. Se basa en la automatización<sup>3</sup> de las operaciones dotándolas de mecanismos inteligentes que permitan el funcionamiento a prueba de errores (Poka Yoke).

En la práctica, esto supone instalar los dispositivos de automatización necesarios en las máquinas para que llegado el caso en que la calidad del producto no esté asegurada, se detenga el proceso sin necesidad de una supervisión continua por parte de los operarios. También supone la implantación de Poka Yokes, que son mecanismos simples que permiten al operario verificar el resultado de una operación impidiendo la ausencia de calidad y ganando tiempo que puede dedicar a acciones que aporten valor añadido en el proceso.

---

<sup>3</sup> Mecanismo de detención automático instalado en máquinas para prevenir la fabricación de productos defectuosos



El resultado es una disminución de los costes, al reducir la mano de obra, i del porcentaje de productos defectuosos así como la mejora de la seguridad en los puestos de trabajo.

## II. *Just-in-time*

El just-in-time es un mecanismo que integra de una manera dinámica la estructura productiva de la organización con el mercado. Este engloba distintos recursos y técnicas que permiten al sistema productivo trabajar según el ritmo que marque el mercado además de reducir la generación de residuos recortando los plazos de entrega.

Este mecanismo esta compuesto por tres elementos:

- Sistema Pull:

Es un mecanismo en el que solo se autoriza para producir cuando hay necesidad del producto o bien una demanda por parte de un cliente. Este método comporta una reducción de la medida de los lotes así como del inventario y una respuesta rápida al cliente.

- Producción Pieza a Pieza (One Piece Flow):

Es un tipo de producción que supone el flujo de una sola pieza (lotes de una pieza) donde cada producto pasa de una estación a la siguiente en el mismo momento en el que se acaba de procesar, sin esperas ni agrupación por lotes. De esta manera se consigue que las piezas fluyan de manera rápida y continua, sin acumulaciones.

- Takt Time:

Se entiende como Takt Time al tiempo en que una pieza debe ser producida para satisfacer las necesidades del cliente y por lo tanto, al tiempo asignado para llevar a cabo todas las operaciones del proceso para producir una sola pieza. Este proviene de un parámetro del mercado aplicado a la línea de producción y es una forma de calcular el ratio de la demanda del cliente.

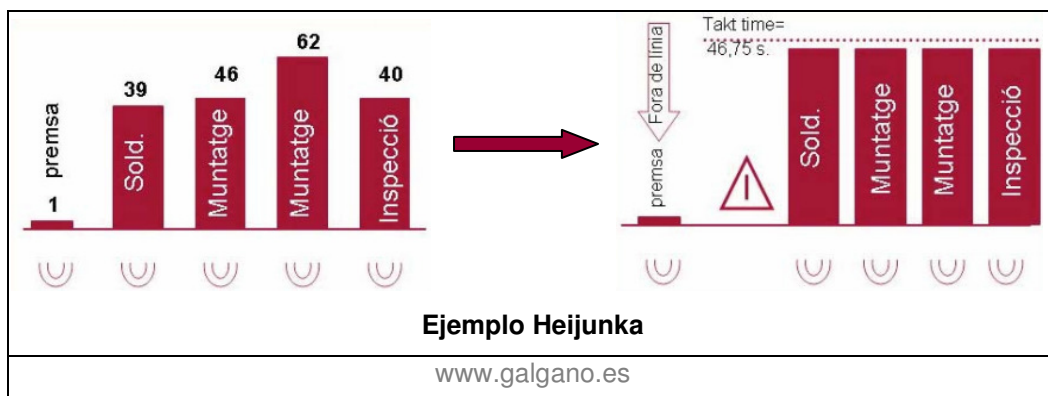
$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo de trabajo disponible}}{\text{Demanda Media}}$$

Simplemente es usado para sincronizar el ritmo de producción con el ritmo de ventas por lo que si tenemos un Takt Time de 40 segundos, significará que el cliente está comprando el producto a un ritmo de una pieza cada 40 segundos.

### III. Heijunka

Heijunka es un término Japonés que se traduce como producción equilibrada. Se trata de una planificación de la producción en pequeños lotes, de varios modelos distintos, en periodos cortos de tiempo de acuerdo con las ventas de cada producto de modo que se consiga una producción equilibrada y en línea con el Takt Time definido por el mercado.

Esta técnica conecta toda la cadena de valor, desde los proveedores hasta los clientes y siguiendo el ritmo del Takt Time.



Como se puede observar en la imagen anterior, una vez calculado el Takt Time, se ajustan los tiempos de trabajo de cada operación para que tengan una duración igual al Takt Time. Por lo tanto, este tiempo será el compás que marcará el funcionamiento de la producción sincronizando la producción con las necesidades de los clientes. Al final de este proceso, se consigue reducir el tiempo de alguna de las fases, equilibrando y saturando las demás. Este tiempo optimizado se puede utilizar para delegar nuevas funciones al personal.

**b) Aspectos organizativos:**

**I. La estandarización:**

La estandarización se basa en un conjunto de instrucciones que definen como se han de llevar a cabo las distintas etapas de una actividad, por ello, es necesario saber que hay que hacer, cómo y a que velocidad, para repetirlo exactamente igual en cada ciclo.

Este método garantiza que las actividades se realicen dentro del plazo establecido i con un inventario de proceso (stocks intermedios) definido que permitirá mantener el flujo regular del proceso. Además, con estándares definidos, se puede conocer si el sistema productivo esta bajo control y detectar posibles desviaciones que permitan una mejora continua.

**II. El operario y el equipo:**

En el sistema de producción Lean, es importante el potencial humano. Es por ello que no existe la figura del trabajador u operario, sino que son miembros de un equipo de trabajo, dónde cualquiera puede aportar sus conocimientos y su experiencia para contribuir en la mejora continua. Cabe resaltar, que son las personas que mejor conocen el proceso y, por lo tanto, las que más pueden aportar a la hora de reducir los residuos generados en este.

III. Proceso de la planificación de la producción (Produccion Preparation Process - 3P):

La técnica 3P es una manera de optimizar el proceso de producción de un producto mediante una visión unitaria del proceso de planificación del diseño del producto y las dos tecnologías que intervienen en la fabricación. Por un lado, tenemos la tecnología para la fabricación, relativa al proceso de obtención del producto y, por otro, la tecnología de la producción, relativa a las maquinas que intervienen.

En este proceso se realiza la planificación del producto así como la planificación y diseño del proceso productivo de manera conjunta con el objetivo de obtener un producto de calidad a bajo coste y con una producción que se adapte a la demanda del mercado.

IV. Dirección por políticas:

La dirección por políticas es un proceso de calidad que implica una gestión de la organización basada en mecanismos de participación de todo el personal y a la focalización en objetivos. Este, se emplea para asegurar el crecimiento a largo plazo así como prevenir la recurrencia de situaciones no deseadas en la planificación y en problemas de ejecución. Se realiza en ciclos anuales y busca alcanzar las grandes mejoras aplicando las ideas y técnicas de control de calidad en el proceso de gestión de la empresa. Los aspectos claves que cabe resaltar de este sistema directivo son:

- Debe ser un proceso de planificación e implantación que se pueda mejorar continuamente, gracias a las experiencias positivas o negativas del periodo anterior.
- Esta orientado a aquellos sistemas críticos que deben ser mejorados para el logro de los objetivos estratégicos.
- Participación amplia de todos los niveles en el proceso de planificación, despliegue y desarrollo de objetivos anuales y de los medios necesarios para alcanzarlos.
- Planificación y ejecución fundamentada en hechos y conocimientos adquiridos.

- Formulación de metas y planes en cascada a través de toda la organización.

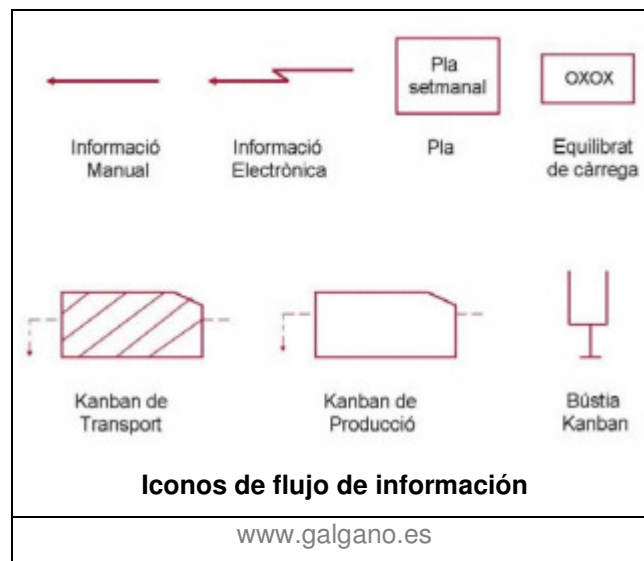
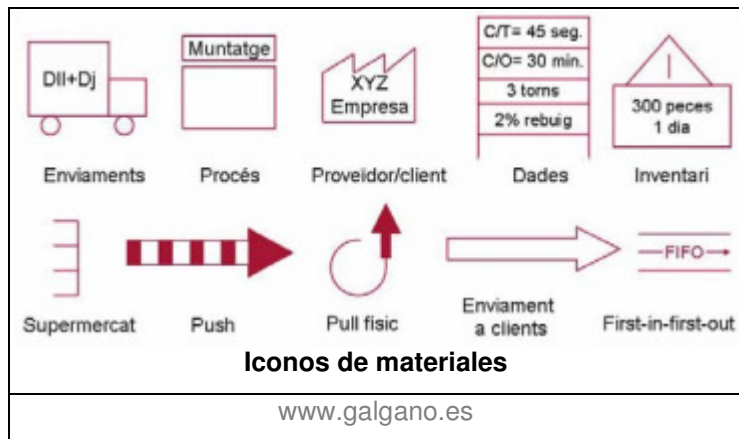
### 2.3. Herramientas básicas de un sistema productivo Lean

La base de un sistema productivo Lean esta constituida por un conjunto de herramientas que nos ayudarán a eliminar los residuos. Estas herramientas sirven para identificar y eliminar de manera sistemática las pérdidas y es por ello que constituyen los cimientos de la filosofía Lean.

#### **a) Mapa del flujo de valor (Value Stream Mapping - VSM):**

Es una herramienta visual utilizada para analizar los flujos de materiales y la información que se requiere para poner a disposición del cliente un producto o servicio. Para ello, partiendo de la situación actual, se representan gráficamente todas las actividades que intervienen en la producción mostrando cada una de las etapas, las esperas y las informaciones que se requieren para entregar el producto o servicio. Se realiza mediante la observación directa desde el lugar de trabajo. Para hacer un fácil entender de estas representaciones graficas, se suele hacer uso de iconos estandarizados:

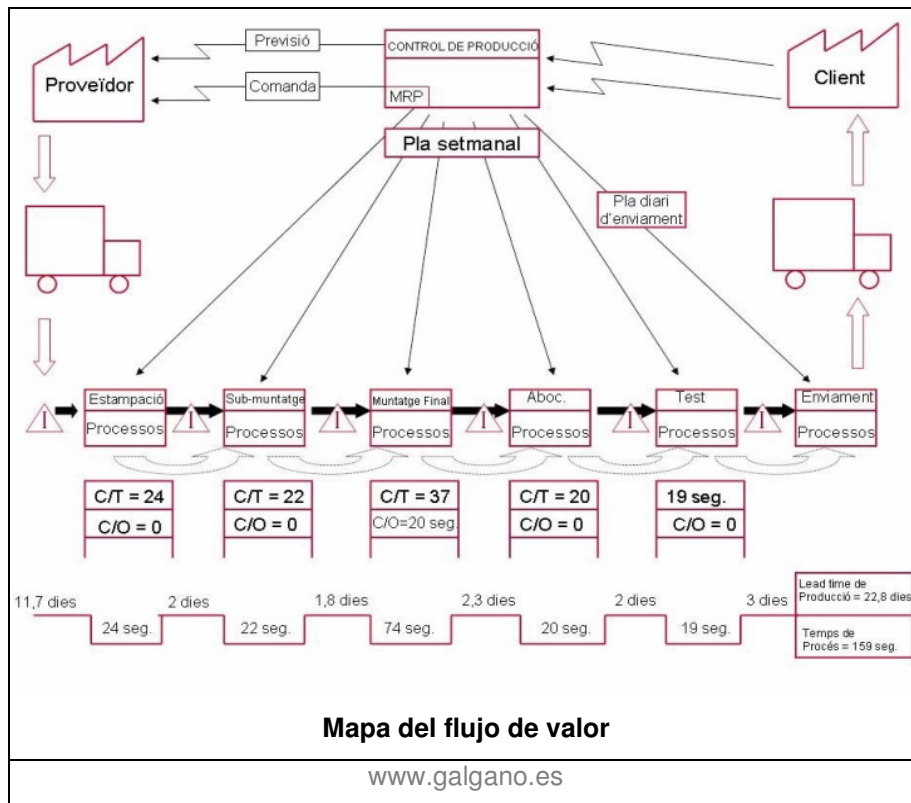




A partir de la representació de fluxos actuals se rediseñen els processos per adaptarlos a un sistema de producció Lean eliminant els residus existents i augmentant de este modo la eficiència del sistema.

A continuació se mostra un exemple de mapa de fluxos on es mostra el procés global de fabricació amb el detall dels fluxos de materials i de informació, així com la planificació realitzada. També apareix un desglossament de les distintes estacions amb la activitat que es porta a terme en cada una d'elles i els inventaris de materials en cada un dels processos amb els seus respectius temps de cicle.

Finalment en la part inferior es compara el recorregut de la producció i el temps de procés com a mecanisme per detectar possibles residus o desperdits.



## b) El programa 5 S:

Es una técnica de gestión basada en cinco principios. Su objetivo es lograr lugares de trabajo mejor organizados, más ordenados y más limpios de forma permanente para conseguir una mayor productividad y un mejor entorno laboral. Este método, permite optimizar el espacio disponible, reducir los errores, las paradas y el tiempo invertido en localizar el material, y mejorar el control del proceso a través de la gestión visual.

En cuanto a las 5 S se refieren tenemos:

- Seiri (separar): separar los materiales útiles de aquellos que no lo son y deshacerse de todo aquello que resulte innecesario.
- Seiton (ordenar): colocar de manera ordenada los materiales útiles asignándoles una ubicación fija. Este orden establecido debe de facilitar su búsqueda, utilización y reposición.
- Seiso (limpiar): es necesario efectuar la limpieza del lugar de trabajo redefiniendo las condiciones óptimas operativas de este. Esto incluye identificar y eliminar las fuentes de generadoras de suciedad.



- Seiketsu (estandarizar): implantación de normas sencillas y visibles que permitan diferenciar los comportamientos correctos de las anomalías. Es necesario comunicar estos estándares a los interesados.
- Shitsuke (respetar): mantener y respetar diariamente los estándares y condiciones anteriormente definidas.

Cabe señalar que algunas organizaciones han llegado a definir cuatro “S” más que complementan y suponen un avance dentro de la cultura creada a partir de las 5S:

- Shikari (constancia): capacidad de la persona de continuar de manera firme en una línea de acción, la voluntad de conseguir una meta.
- Shitsukoku (compromiso): cumplir aquello que se ha pactado, implica una visión ética de la aplicación de las 5S.
- Seishoo (coordinación): capacidad de realizar un trabajo siguiendo una metodología concreta y teniendo en cuenta al resto de personas que integran el equipo de trabajo, con el fin de aunar esfuerzos para alcanzar un objetivo común.
- Seido (sincronización): establecer un plan de trabajo mediante normas claras y específicas que indiquen a cada miembro del equipo qué se espera de él y que tiene que hacer.

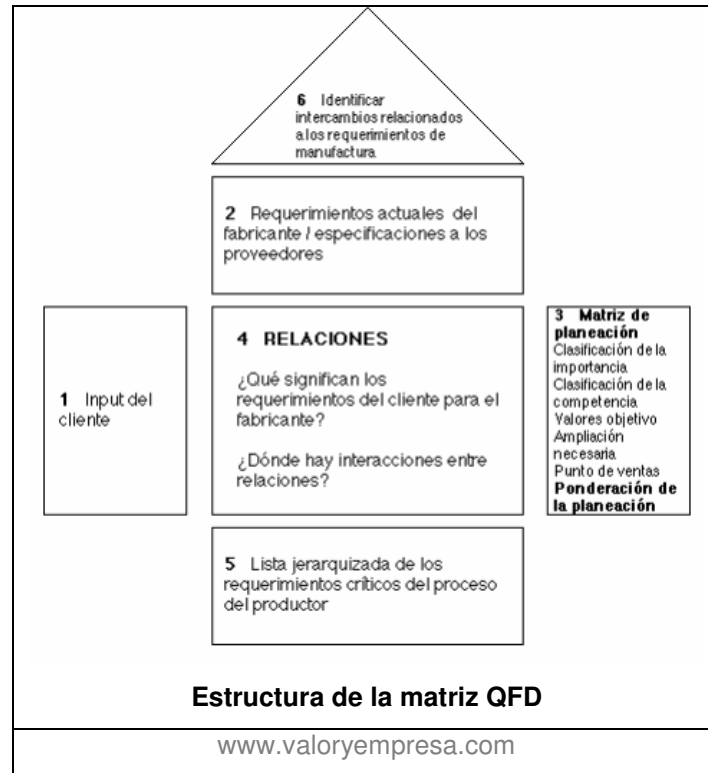
**c) Despliegue de la función de calidad (Quality Function Deployment - QFD):**

Técnica utilizada para el desarrollo de nuevos productos i/o servicios que ayudan a la eliminación de los residuos o derroches des de la fase de concepción y diseño hasta la ingeniería, fabricación, mercadotecnia, ventas y distribución. Este sistema pretende traducir los requerimientos del cliente a los parámetros apropiados de la empresa en cada una de las etapas del ciclo de desarrollo de productos.

La aplicación de esta metodología elimina las costosas correcciones y modificaciones sucesivas en los productos y procesos cuando se acerca la

puesta en marcha del proyecto, de modo que se consigue reducir costes y tiempo invertido en las etapas de diseño y desarrollo.

A continuación se muestra una imagen ilustrativa de una estructura QFD:



#### d) Mantenimiento productivo total (Total Productive Maintenance - TPM):

Persigue la eliminación de los derroches causados por las paradas de máquinas por averías mediante un buen mantenimiento. Esta mejora se aplica principalmente en procesos automatizados mediante el estudio de la eficiencia global de las instalaciones.

La eficiencia global de las instalaciones (Overall Equipment Effectiveness - OEE) es un indicador que se utiliza como un sistema de medición que permite hacer visibles todos los residuos existentes a nivel de maquinaria. Este se calcula como el ratio entre la producción realizada en un periodo de tiempo y la producción máxima realizable en el mismo período de tiempo con la máquina funcionando a la velocidad teórica máxima. El objetivo es la mejora del indicador hacia valores por encima del 85%.

Para la mejora del OEE hace falta buscar las principales fuentes de pérdida de productividad. En líneas de producción con un elevado grado de

automatización hay tres derroches a tener en cuenta: tiempo (averías, limpieza, falta operarios), proceso y calidad.

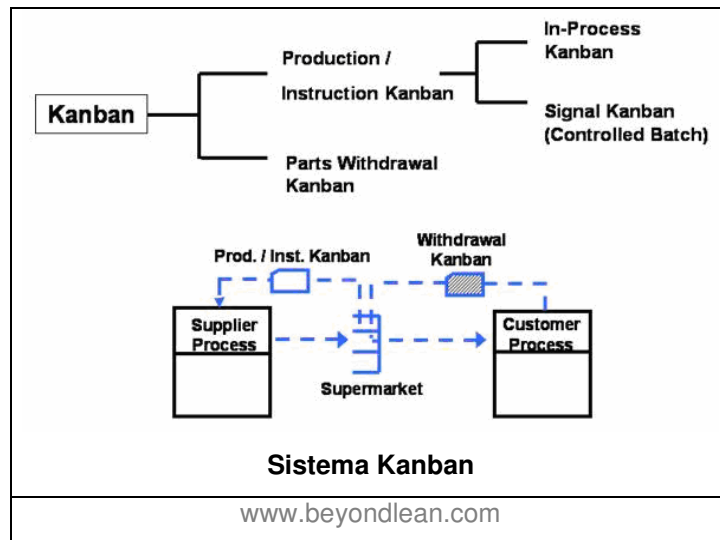
Dentro de una metodología TPM hay un seguido de actividades fundamentales que sirven para su implantación de forma disciplinada y efectiva. Dichas actividades son:

- Mejoras individuales
- Mantenimiento autónomo
- Mantenimiento planificado
- Mantenimiento para la calidad
- Gestión de nuevos equipos
- Seguridad
- Educación y formación.

De este modo, la clave de este tipo de proyectos es un análisis de las causas que provocan estas pérdidas, con detalle para encontrar las causas concretas a estos problemas. A partir de aquí se implantarán programas de mantenimiento autónomo y preventivo.

#### **e) Kanban:**

El concepto Kanban (tarjeta) se podría definir como un sistema de producción que consiste en establecer un sistema automático para el flujo de materiales. Se basa en algún tipo de señal visual (tarjeta, luces, ...) que aporta la información necesaria para gestionar diariamente los materiales del proceso de producción. Este sistema sirve para la regulación de la producción actuando como órdenes de suministro de material, por lo que se consigue una sincronización de la producción y el suministro de materiales de una manera visual y sencilla. Normalmente se enfoca a transporte y producción.



Si hablamos de Kanban de producción, su objetivo es enviar una orden de producción al proceso precedente para que inicie la producción de más partes o el surtimiento de materias primas indicando qué y cuanto hay que fabricar para el proceso posterior, por lo que se utiliza para:

- I. Poder empezar cualquier operación estándar en cualquier momento
- II. Dar instrucciones basados en las condiciones actuales del área de trabajo
- III. Prevenir que se agregue trabajo innecesario a aquellas órdenes ya empezadas y prevenir el exceso de papeleo innecesario

En cuanto al Kanban de transporte, se utiliza una tarjeta o cualquier tipo de señalación que autoriza el movimiento entre un centro de trabajo y otro indicando qué y cuanto material se retirará del proceso anterior. El Kanban de transporte siempre debe acompañar al flujo de materiales de un centro a otro. Esta herramienta se utiliza para:

- I. Eliminación de sobreproducción
- II. Prioridad en la producción, el Kanban con más importancia se pone primero que los demás
- III. Se facilita el control de material

La principal aportación del uso de kanbans es reaprovisionar solamente el material vendido, reduciendo de este modo los stocks no deseados que

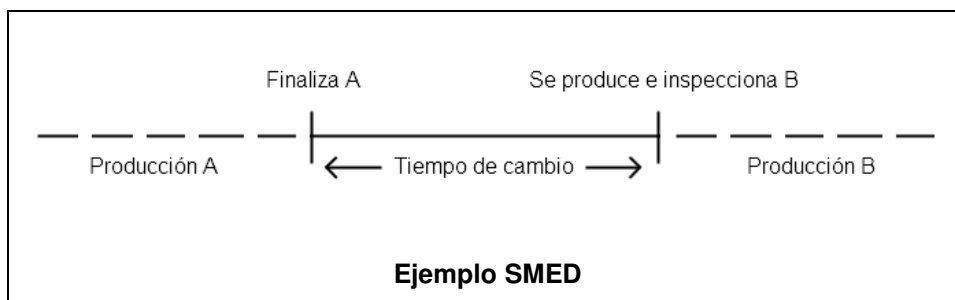
pueden generarse al utilizar un sistema de aprovisionamiento en función de unas previsiones.

**f) Cambio rápido de herramienta (Single Minute Exchange of Die - SMED):**

El SMED es un conjunto de técnicas ideadas para reducir el tiempo de cambio de herramienta (setup) cuando se requiere un cambio de producto. El tiempo de cambio se mide entre la última pieza producida del producto A y la primera pieza del producto B y se pretende reducir el tiempo de preparación por debajo de los diez minutos. Las operaciones contempladas van desde limpieza de máquinas y engranajes hasta mantenimientos preventivos y controles de calidad.

Dentro de estas operaciones, se pueden distinguir dos tipos de preparación o cambio:

- I. IED: Tiempo interno de cambio (con máquina parada). Son operaciones que necesariamente se han de realizar a máquina parada.
- II. OED: Tiempo externo de cambio. Son operaciones que se pueden hacer con la máquina en funcionamiento.



Cabe tener en cuenta la importancia de realizar el cambio de herramienta en el menor tiempo posible ya que en caso contrario, se reduce la capacidad y productividad de la máquina y se amplía el número de stocks al tener una baja frecuencia de cambio.

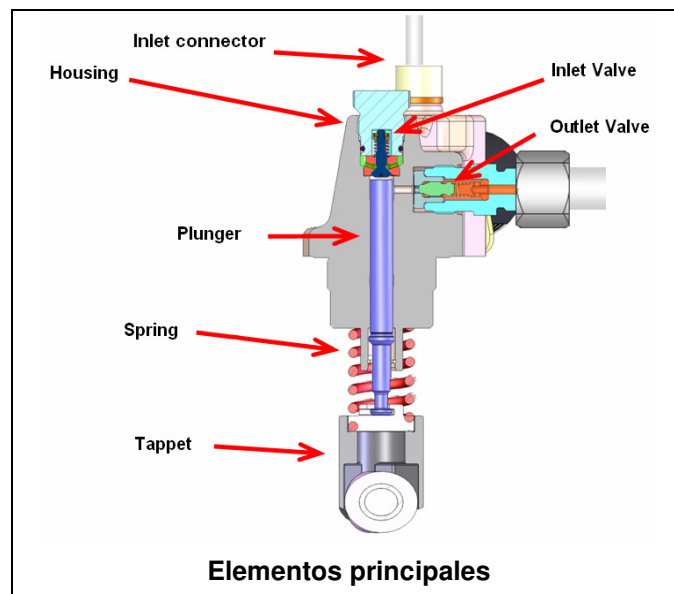
### 3. Secuencia de montaje

Para poder realizar la secuencia de montaje de la bomba es necesario conocer perfectamente los elementos que la componen y la manera en que se acoplan entre ellos (roscado, prensado, pegado, etc.). También es importante saber los procesos previos que tienen que pasar algunos elementos antes de estar listos para su montaje (mecanizado). Una vez se tienen estos conceptos claros, se empieza con el montaje de la bomba, viendo cual es la secuencia más lógica para que todos los elementos puedan ser montados con facilidad. Al finalizar la secuencia de montaje será necesario determinar el flujo de los distintos componentes a lo largo de la línea y valorar la idea de realizar los premontajes de los elementos pequeños en la misma línea o pedirlos montados directamente a proveedor para ahorrar tiempo y dinero. Normalmente, los elementos compuestos por componentes muy pequeños que requieren mucha precisión, llegan premontados directamente de proveedor.

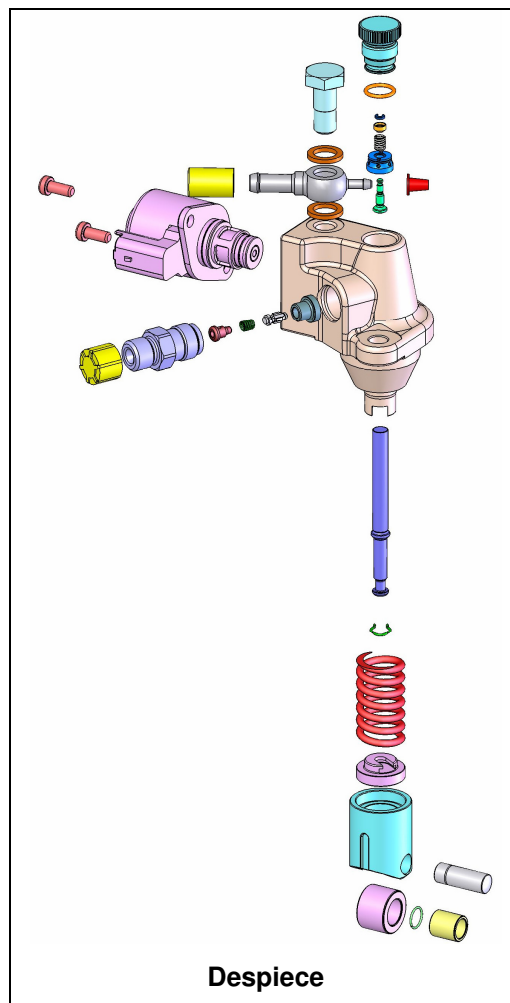
#### 3.1. Descripción del producto

##### 3.1.1. Elementos principales

A petición de un cliente, se realiza el diseño, por parte del departamento técnico de la empresa, de una bomba inyectora para un sistema common rail. La función de esta es aspirar el gasoil a baja presión procedente de un depósito de combustible y aumentar su presión. A continuación se muestran los elementos principales que componen la bomba:

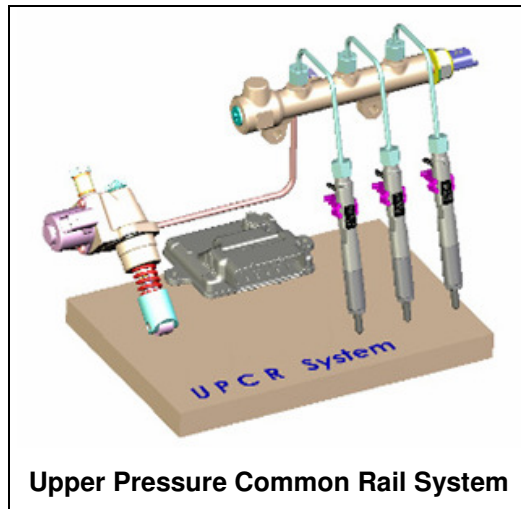


Cada uno de los elementos principales esta formado por distintos componentes ya sean tornillos, juntas, muelles, etc. Estos componentes son de tamaño muy reducido y habrá que tener especial cuidado en el momento de su montaje para evitar que entren micropartículas en su interior ya que pueden dañar los componentes y obstruir los conductos. A continuación se puede ver un despiece de la bomba en la cual se muestran todos los componentes de la bomba, incluidos los componentes conocidos como “requisitos de cliente”, en este caso el tappet (alzaválvulas) y los tapones.

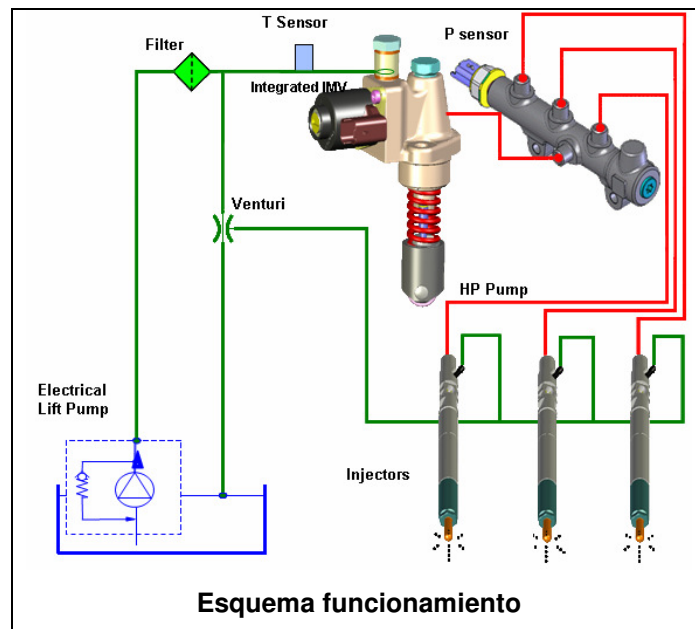


### 3.1.2. Funcionamiento

Para entender el funcionamiento de la bomba primero tendremos que ver la función que ejerce dentro del sistema common rail para el que ha sido diseñada.

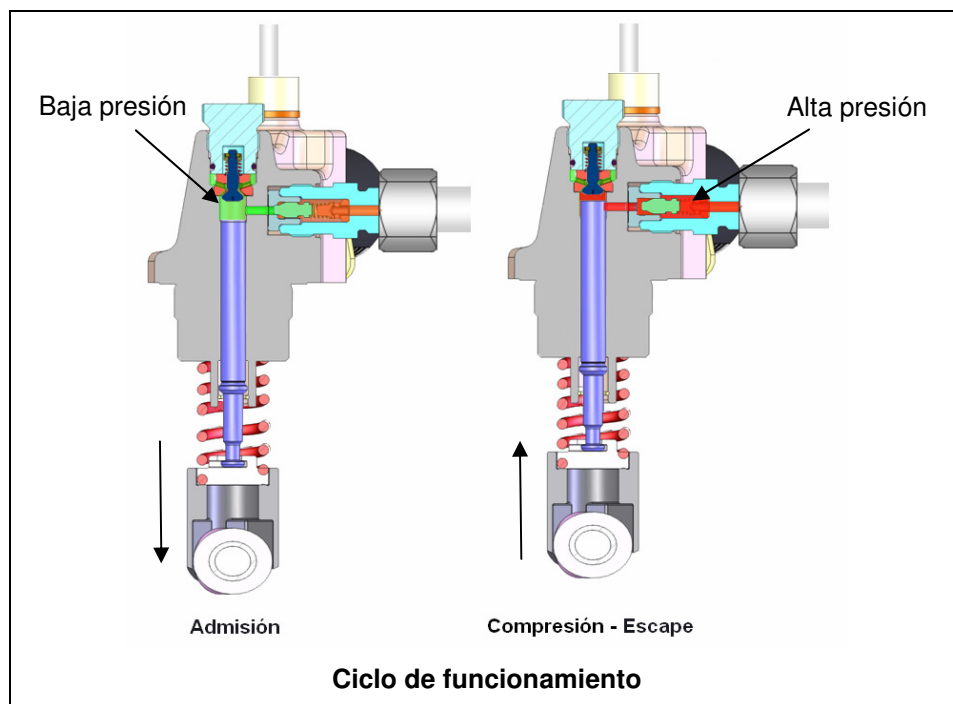
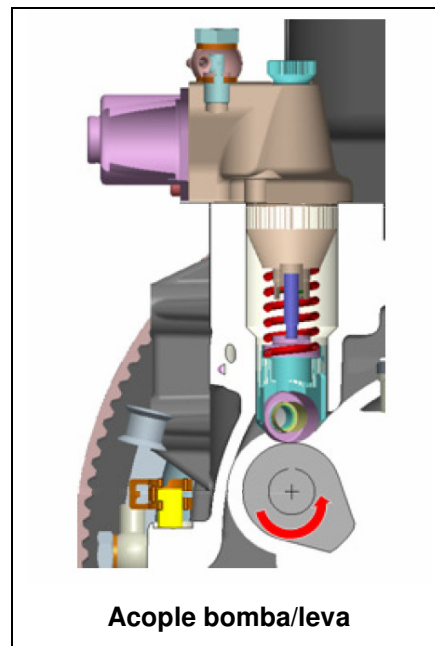


A continuación, se muestra detalladamente el circuito interno del sistema:

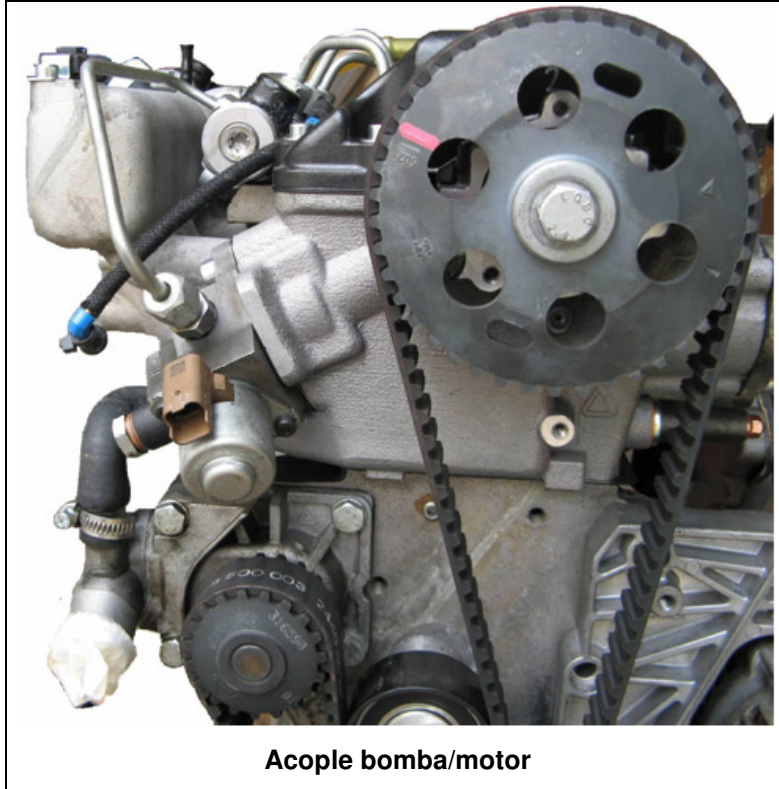


Como se puede observar en el circuito, el combustible es bombeado, por una bomba de transferencia accionada eléctricamente, a baja presión hasta la bomba de alta presión, pasando previamente por un filtro de partículas. La bomba de alta presión, es movida mecánicamente por una leva que unida al cigüeñal del motor desplaza el émbolo de la bomba e inyecta el combustible a alta presión (1500-2000 bar) por la válvula de escape hacia el common rail, aumentando la presión en él para impulsar el combustible hasta los inyectores del motor principal.





La principal ventaja de este sistema es que permite controlar electrónicamente el suministro de combustible ya que al realizar 3 pre-inyecciones antes de la inyección principal, se consigue preparar la mezcla para una óptima combustión, por lo que se mejora el rendimiento del motor.

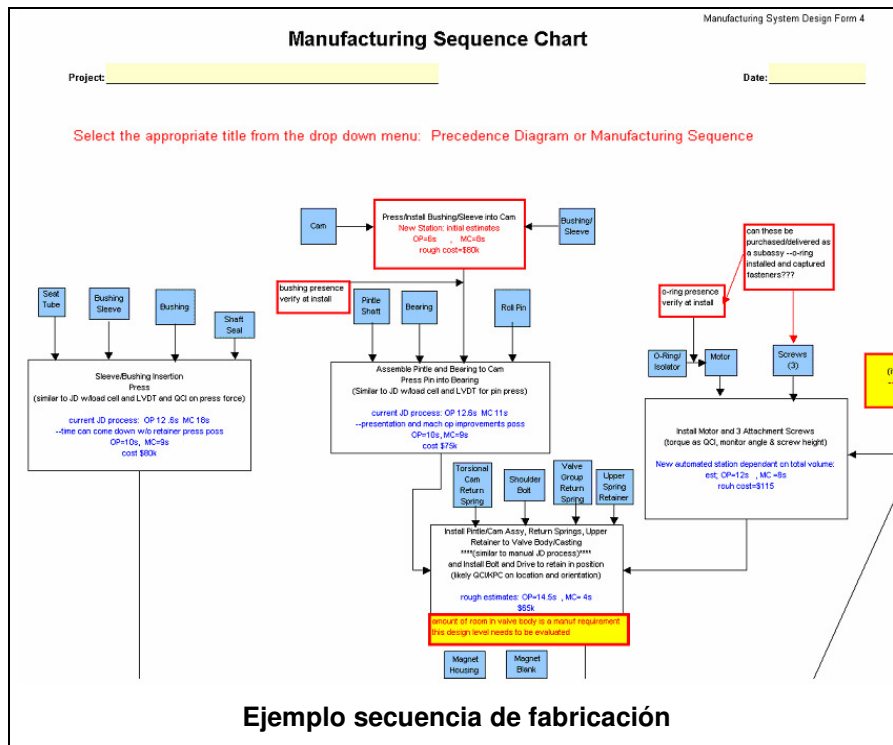


### 3.2. Secuencia de fabricación

Para implementar una cadena de montaje, se va a empezar describiendo la secuencia de fabricación. Para ello, se definen las diferentes etapas del proceso para transformar todos los componentes en un producto, en este caso nuestra bomba. Esta secuencia, se suele utilizar para mostrar:

- La relación de las diferentes fases del proceso dentro del flujo del proceso general
- La introducción de las piezas a comprar en el sistema de fabricación
- Quality gates (puertas de calidad)<sup>4</sup>
- Puntos de ruptura lógica entre los distintos sectores de la cadena de valor

<sup>4</sup> En un proceso, cada fase depende en gran medida del resultado de la fase anterior.



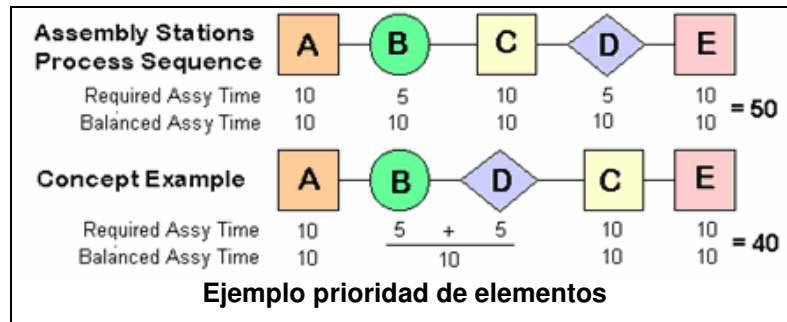
Para empezar a desarrollar una secuencia de fabricación se debe tener en cuenta los siguientes puntos clave:

- I. **Procesos individuales** - Se basa en la necesidad de pensar en el proceso necesario para construir el producto y no en el trabajo contenido en cada estación de trabajo. Cuando se empieza a desarrollar una secuencia de fabricación es favorable empezar primero con las etapas individuales del proceso y luego determinar lo que se realizará en cada estación de trabajo.

Un enfoque inicial en el nivel de la etapa del proceso se asegurará de que algo no se pasa por alto. El detalle de cada etapa nos llevará a considerar una variedad de opciones que nos hará seleccionar la mejor secuencia antes de consolidar el diseño de cada estación de trabajo.

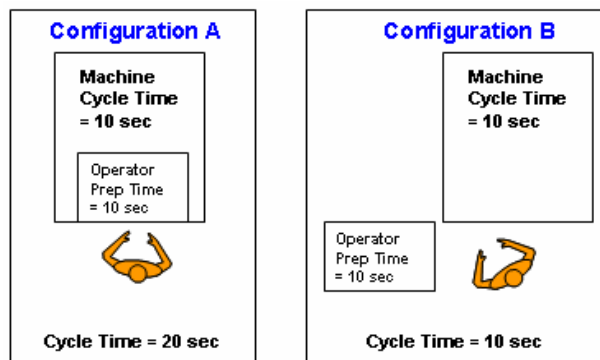
- II. **Prioridad de los elementos de trabajo** - Desarrollo del orden de los elementos durante el proceso de fabricación. La elaboración del orden de prioridades en el proceso de fabricación es un ejercicio lógico que considera la secuencia de montaje de los elementos, mostrando cuales son transferibles, presentándolos en varios

puntos del proceso. El propósito de centrarse en las prioridades de montaje es no limitarse a aquello que siempre se ha hecho, sino, más bien centrarse en todas las formas posibles en que se puede hacer.



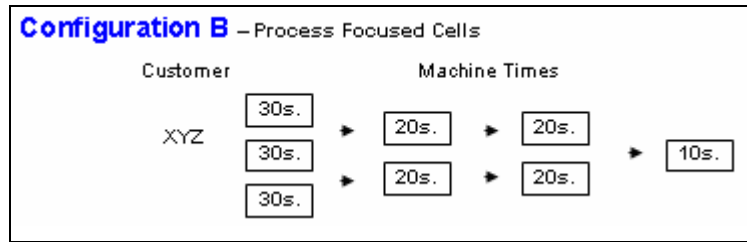
La imagen anterior muestra como un producto transferible permite equilibrar los tiempos de ciclo de una operación de montaje moviéndolo a una posición diferente dentro del proceso de montaje.

- III. **Contenido del trabajo** - El desarrollo del contenido de cada estación de trabajo o maquina empezando con el contenido más simple para evitar la complejidad.



En la configuración A el ciclo consta de 10 segundos de trabajo manual en un accesorio dentro de la máquina seguido de 10 segundos de ciclo por parte de la máquina, lo que hace un total de 20 segundos de ciclo. Si la operación se separa simplificando el trabajo tal y como se muestra en la configuración B realizando la



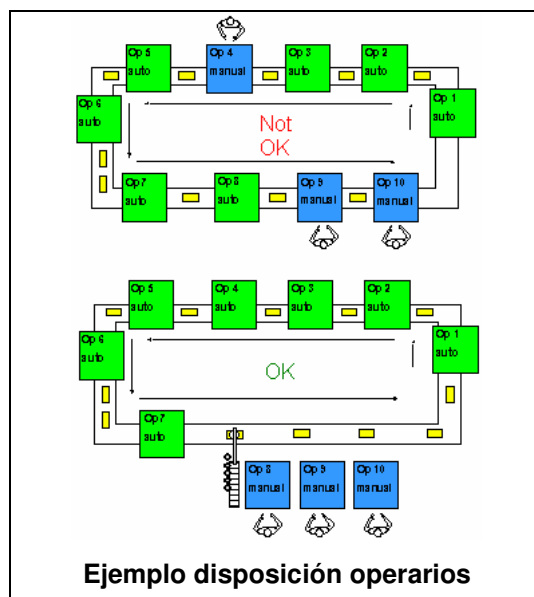


En la configuración A, donde las máquinas están acopladas, los tres incrementos de capacidad en cada fase del proceso se requieren para lograr un tiempo de ciclo de 10 segundos.

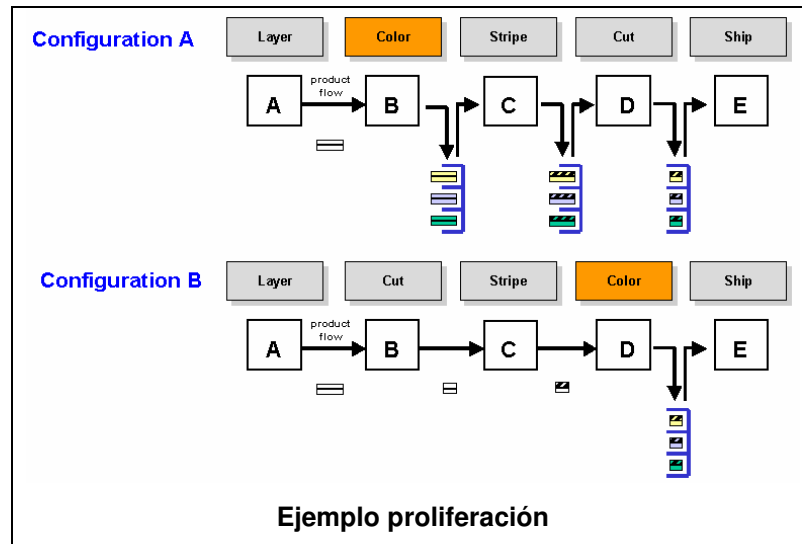
En la configuración B, donde las máquinas están desacopladas y los materiales fluyen de forma controlada entre procesos, las máquinas son añadidas solo cuando sea necesario lograr un tiempo de ciclo de 10 segundos.

VII. **Separar manual de automático** - Unificar operaciones manuales separándolas de las maquinas automatizadas.

Lógicamente juntar las operaciones manuales en grupos de operarios es mejor que tenerlos separados. Además hay que considerar la posibilidad de separar el trabajo manual de las máquinas automáticas ya que cada uno tiene características de trabajo distintas. Un operario necesita tiempos de descanso mientras que una máquina funciona 24 h/día.



VIII. **Proliferación de principio a fin** - Desarrollar secuencias en que la proliferación de avance desde el inicio hacia el fin del sistema de fabricación. Controlar los puntos de proliferación puede ayudar a reducir inventarios i mejorar el tiempo de ejecución (leadtime).



En la configuración A, el proceso que causa la proliferación está cerca del comienzo de la secuencia, esto, a menudo requiere varios inventarios. En la configuración B la proliferación se mueve hacia el final del proceso, reduciendo el número de inventarios.

[Ver Anexo 1](#)

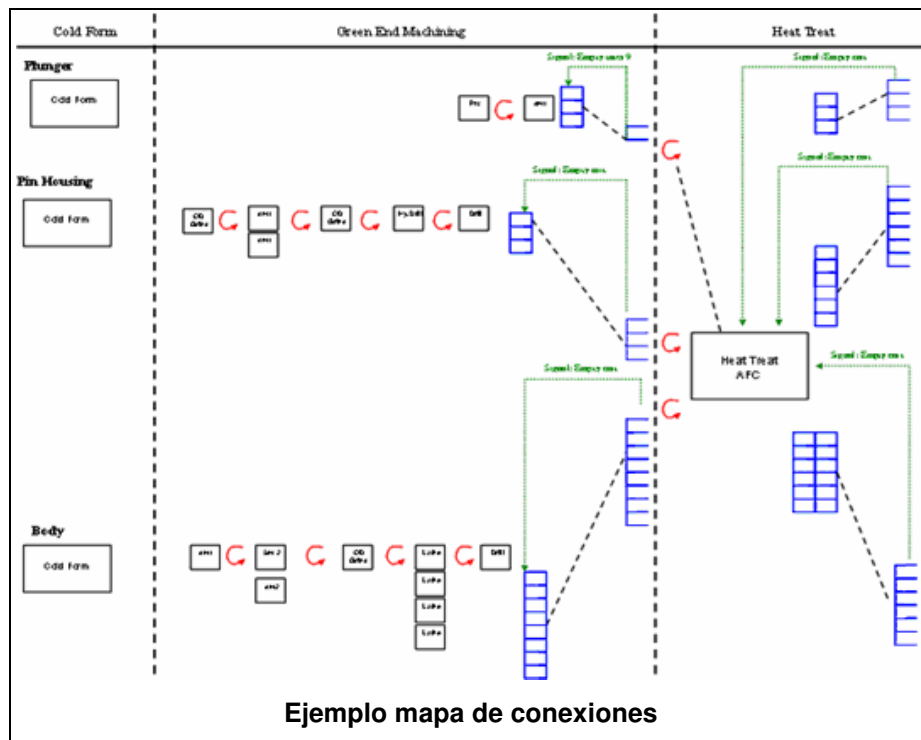
### 3.3. Mapa de conexiones

Hecha la secuencia de fabricación, se realiza el mapa de conexiones. Esta es una herramienta visual muy similar al value stream map que se utiliza para describir:

- Los procesos, maquinas y el correspondiente segmento de proceso<sup>5</sup> que conforman la planta de fabricación del sistema operativo
- El material y la información de los puntos de conexión del sistema operativo

<sup>5</sup> Grupo de operaciones de fabricación que funcionan como una o más unidades de capacidad en la secuencia de fabricación.

- Las conexiones físicas entre segmentos y máquinas



Algunas características del mapa de conexiones sirven para:

- Dar soporte a las declaraciones de fabricación que visualmente representa el sistema operativo
- Mostrar la misma secuencia de procesos y operaciones que han sido definidas en la Manufacturing sequence
- Mostrar visualmente las conexiones entre segmentos de procesos

[Ver anexo 2](#)

### 3.4. Layout

Una vez tenemos la secuencia de montaje y el mapa de conexiones, se puede empezar con la especificación de la línea. De este modo, se podrá determinar:

- La maquinaria y equipos necesarios para el montaje de la bomba
- El avance de la bomba a lo largo de toda la línea
- El numero de operarios necesarios en la línea

En un principio, la idea era realizar una línea de montaje totalmente automatizada, sin necesidad de operarios. El resultado final, ha sido una línea que combina el trabajo automatizado con el manual. La razón, por la cual se ha



diseñado una línea semiautomática reside en que la implantación de este proyecto se quiere realizar en la India. Teniendo en cuenta el coste de los equipos automatizados que son necesarios y valorando el coste de mano de obra en la India, se ha preferido ahorrar en la inversión optando por una línea con un menor grado de automatización.

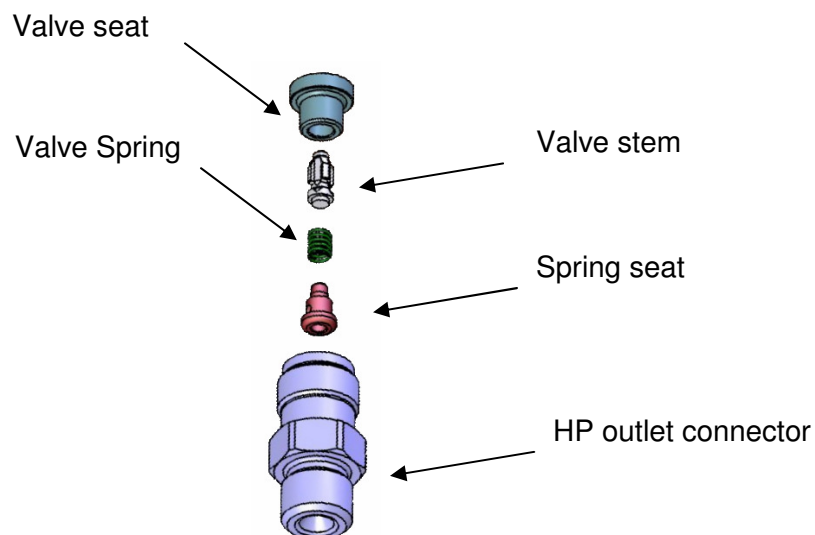
### [Ver anexo 3](#)

#### 3.4.1. Especificaciones y requisitos

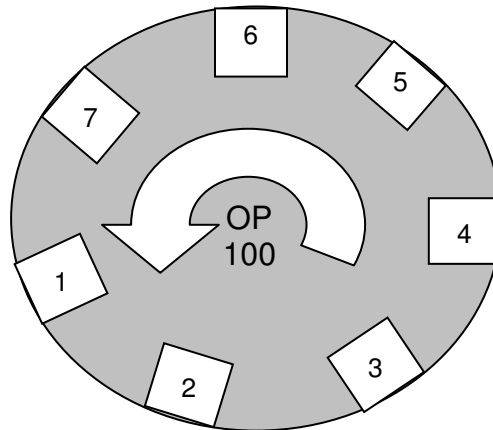
La finalidad de realizar un layout reside en mostrar cómo es el avance del producto, en este caso la bomba, a lo largo de toda la línea de montaje. Una vez obtenido, se tiene que hacer la especificación de cada una de las máquinas necesarias para entregar al proveedor. Es por ello que en dicha especificación, se deberá detallar todos los componentes necesarios en cada estación de trabajo. Una vez el proveedor ha entendido los requisitos de la máquina, este procederá a realizar un presupuesto de todo el conjunto.

##### 3.4.1.1. OP 100 Sub-montaje HP outlet connector

- Imagen del proceso:



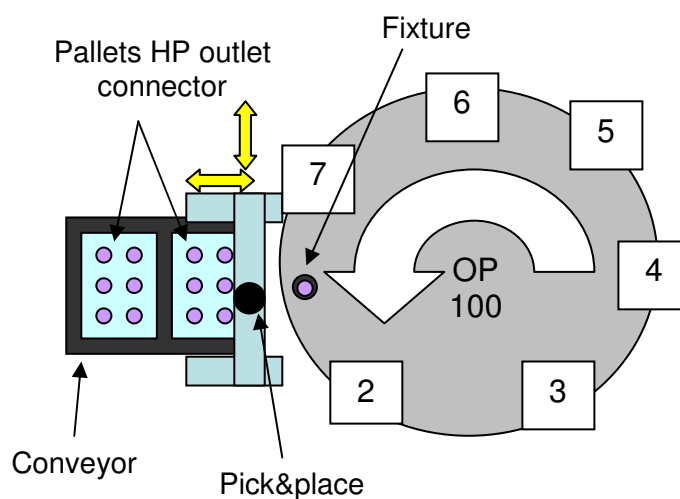
- Configuración de la estación de trabajo:



Esta estación de trabajo recibe el nombre de operación 100. Está formada por una mesa rotativa (turntable) con siete posiciones. Todas las acciones realizadas en dicha operación son automáticas. Además incluye una fijación integrada en cada una de las posiciones para sujetar el HP outlet connector. En cada una de las fijaciones, se incluye un sensor óptico para verificar la presencia y la correcta posición del elemento.

#### I. **Estación 1:** Carga HP outlet connector en mesa rotativa

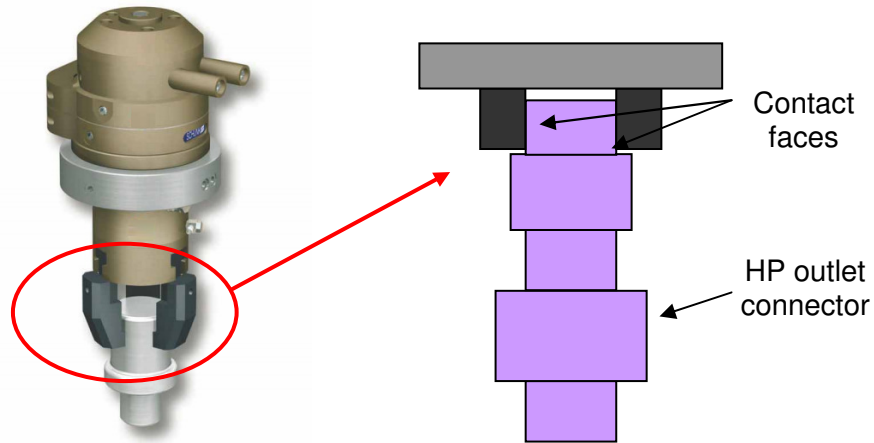
- Esquema del proceso:



▪ Requisitos:

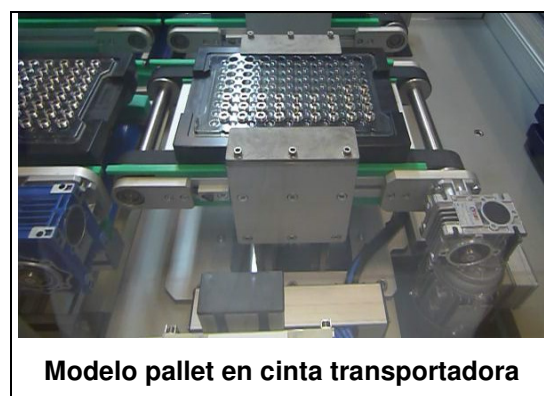
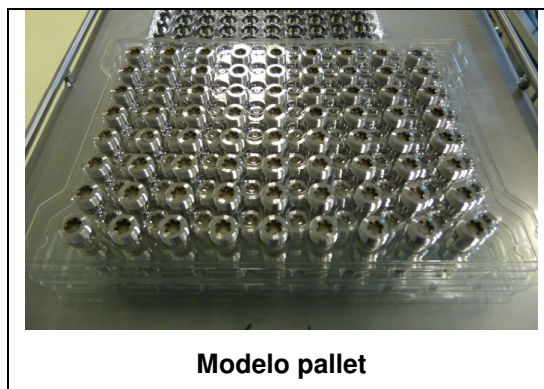
Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Pick & place<sup>6</sup>



- Conveyor (cinta transportadora)

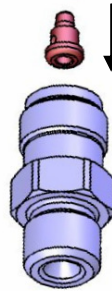
A continuación se muestra un modelo de pallet para el HP outlet connector:



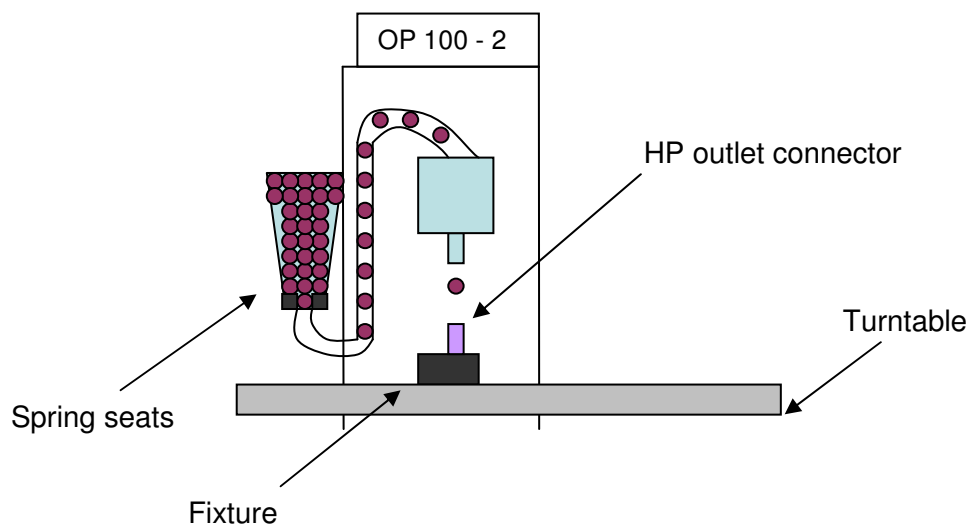
<sup>6</sup> Robot simple con dos o tres grados de libertad cuya única función es la transferencia de los elementos de un lugar a otro.

## II. Estación 2: Montaje spring seat

- Imagen del proceso:



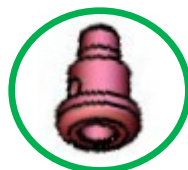
- Esquema del proceso:



- Requisitos:

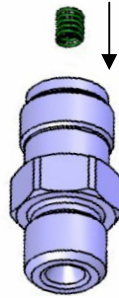
Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Alimentador del Spring seat con sistema Poka yoke para verificar la correcta posición antes de ser subministrado.

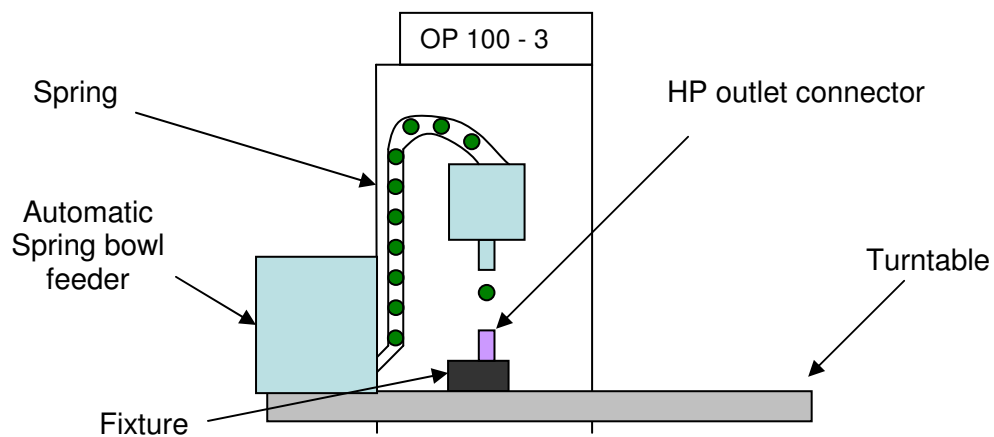


### III. Estación 3: Montaje spring

- Imagen del proceso:



- Esquema del proceso:



- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

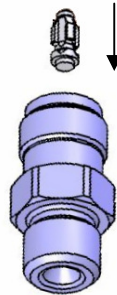
- Alimentador automático de springs (automatic spring bowl feeder)



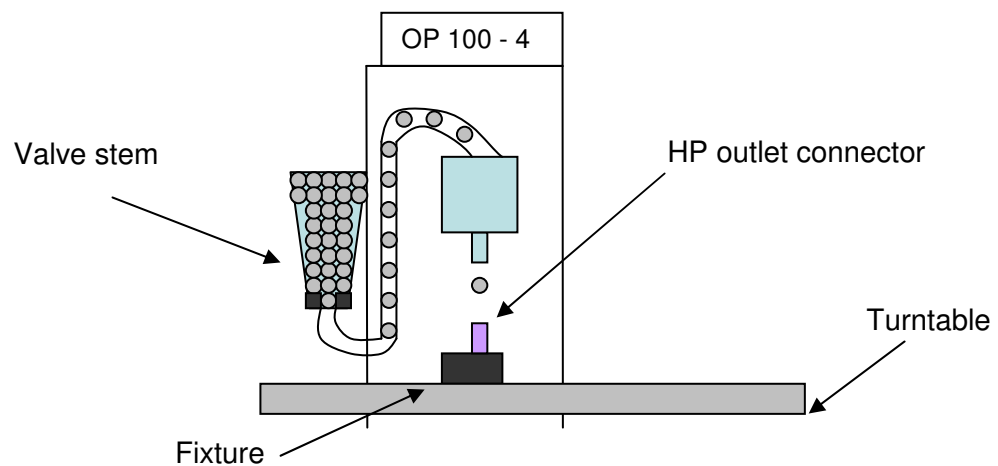
- Poka yoke para verificar la longitud del spring

#### IV. Estación 4: Montaje valve stem

- Imagen del proceso:



- Esquema del proceso:



- Requisitos:

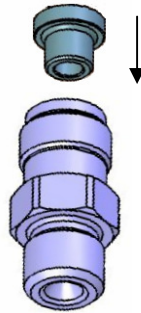
Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Alimentador del valve stem con poka yoke para verificar la correcta posición antes de ser suministrado

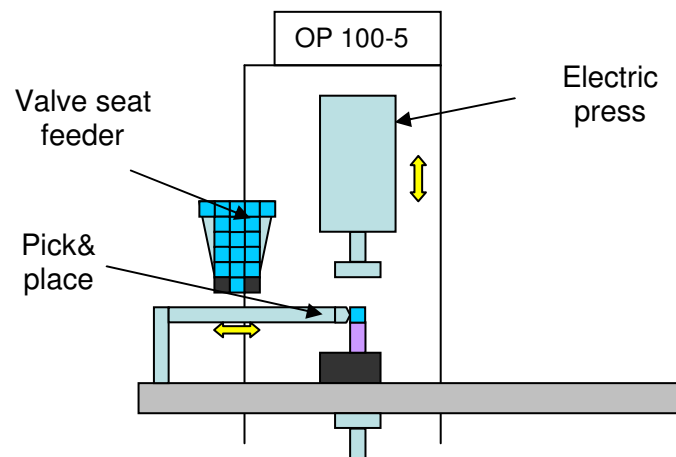


## V. Estación 5: Montaje valve seat

- Imagen del proceso:



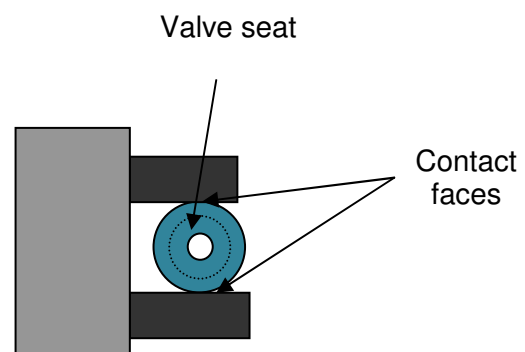
- Esquema del proceso:



- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Pick & place



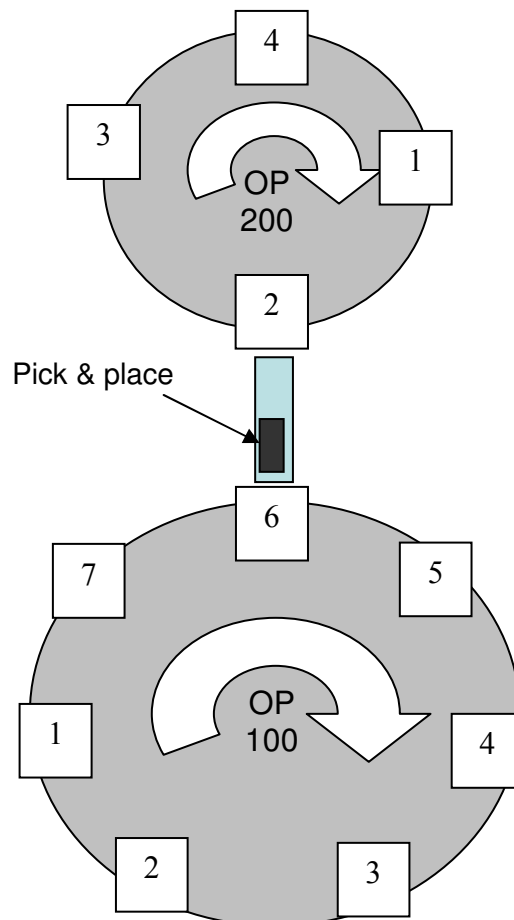
- Prensa eléctrica



- Alimentador valve seat feeder

#### VI. **Estación 6:** Verificación y descarga de las piezas OK

- Esquema del proceso:



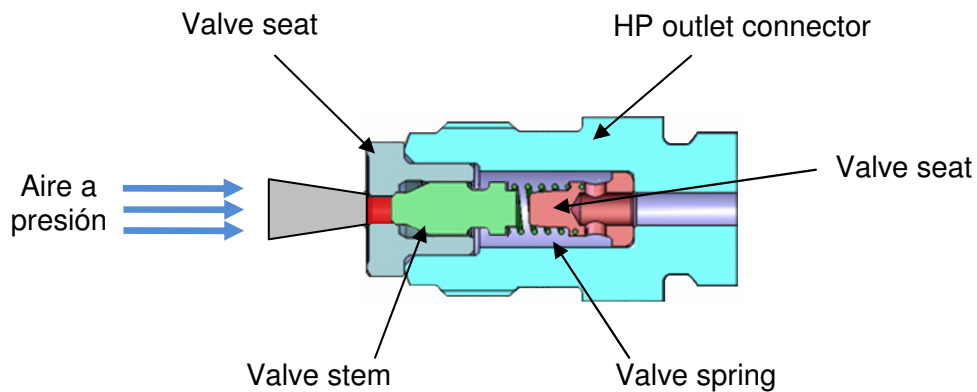


- Requisitos:

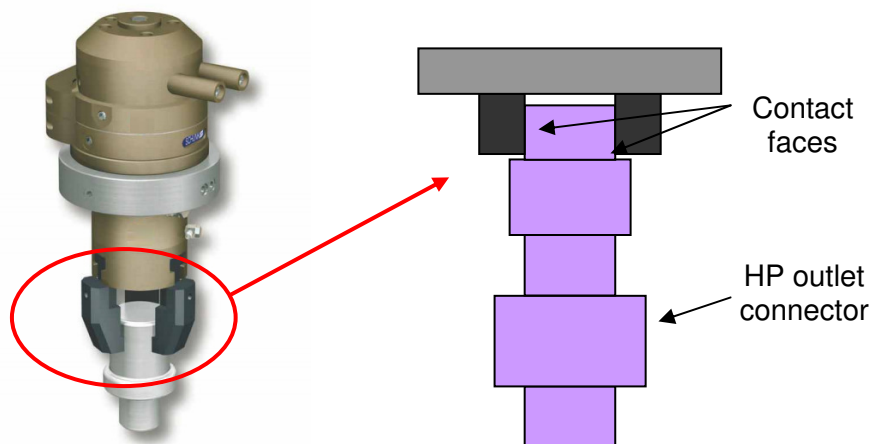
Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Equipo verificación piezas OK

Se ha de verificar que el valor del prensado en la estación anterior esta dentro de unos límites máximo y mínimo. Esta información la transmite la misma prensa eléctrica al realizar el prensado. Si el valor del prensado es correcto, se procederá a introducir aire a presión en el interior del sub-montaje para verificar la presencia de todos los elementos midiendo la fuerza que ejerce el aire a presión en el interior del conjunto.



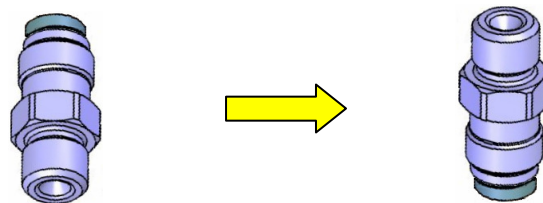
- Pick & place



En este caso, el pick & place tiene dos funciones. La primera es la de transportar el sub-montaje del HP outlet connector a la siguiente estación y la segunda es rotar el sub-montaje.

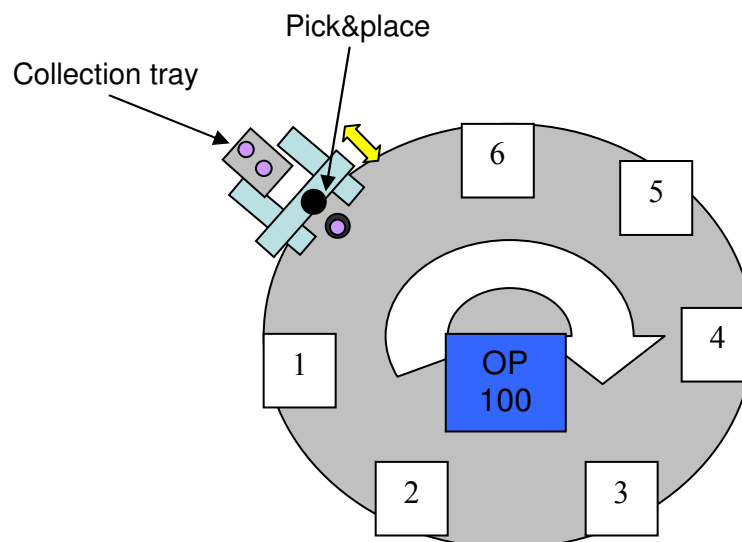


Así tenemos que, cuando el sub-montaje del HP outlet connector es descargado de la OP 100-6 a través del pick & place necesita ser rotado 180° antes de cargarlo en la OP 200-2.



## VII. **Estación 7:** Descarga piezas NOK y verificación de estación vacía

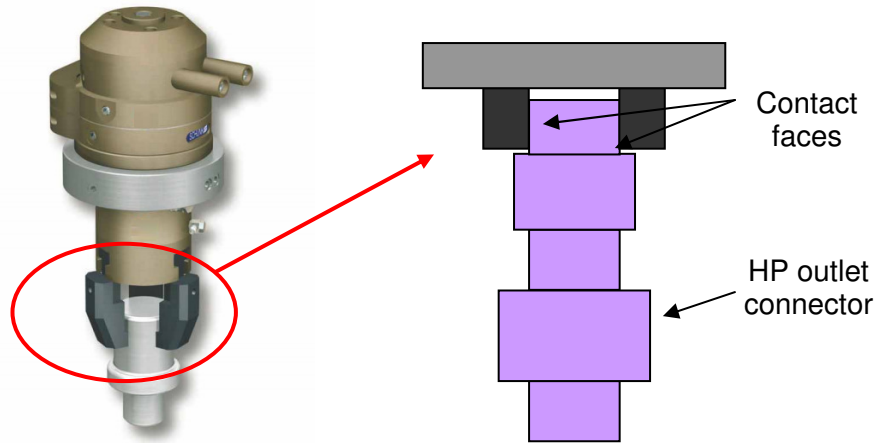
- Esquema del proceso:



▪ Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Pick & place

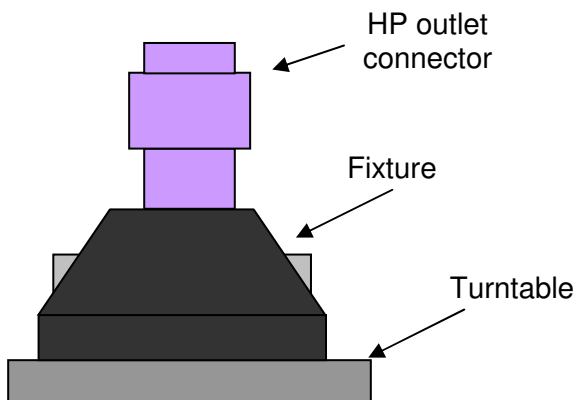


- Bandeja de recogida (collection tray) para depositar las bombas en mal estado (NOK)
- Sensor óptico para verificar la ausencia de elementos e iniciar de nuevo el ciclo

3.4.1.1.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa

La fijación debe asegurar:

- Una posición correcta del HP outlet connector en cada estación
- Una fijación correcta del HP outlet connector durante cada una de las operaciones automáticas

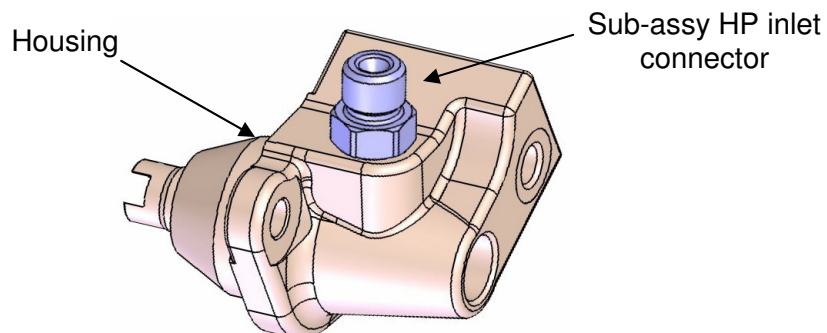


3.4.1.1.2. Flujo del proceso

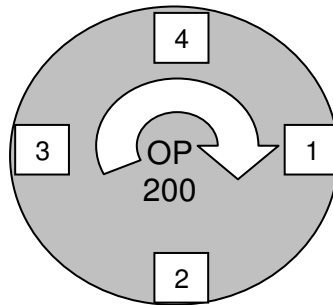
OP	Descripción	Manual / Automático	Comentarios	Tiempo (s)
100-1	Carga HP outlet connector en mesa rotativa	Automático	Pick & place	2
100-2	Montaje spring seat en HP outlet connector	Automático	Bowl feeder	2
100-3	Montaje spring en HP outlet connector	Automático	Spring feeder	2
100-4	Montaje valve stem en HP outlet connector	Automático	Automatic feeder	2
100-5	Montaje valve seat en HP outlet connector	Automático	Bowl feeder	2
100-5	Prensado valve seat en HP outlet connector con prensa eléctrica	Automático	Verificación fuerza vs. distancia	10
100-6	Verificación mecánica de todos los componentes montados (OK)	Automático	Verificar fuerza spring	10
100-6	Descarga HP outlet connector de mesa rotativa	Automático	Pick & place	2
100-7	Descarga HP outlet connectors NOK	Automático	Pick & place	2
100-7	Verificación estación vacía para iniciar nuevo ciclo	Automático	Sensor óptico	1

3.4.1.2. OP 200 Pre-montaje housing

- Imagen del proceso:



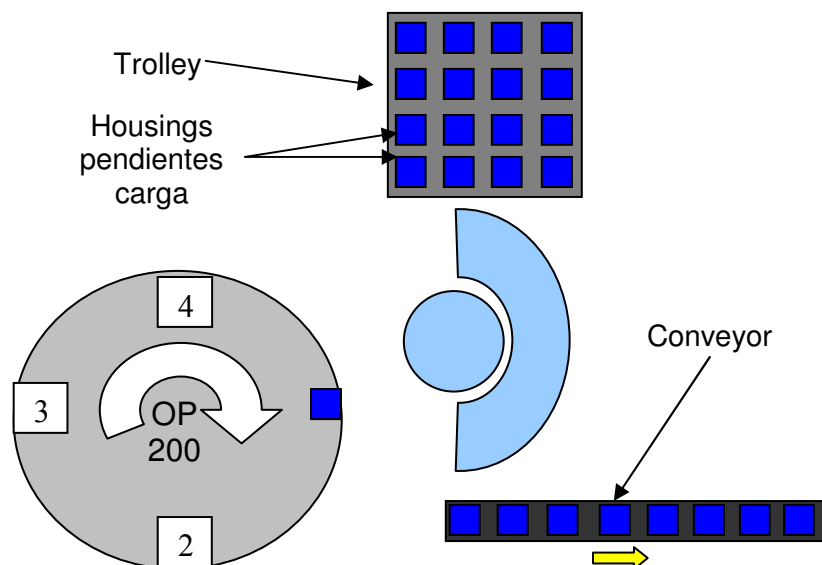
- Configuración de la estación de trabajo:



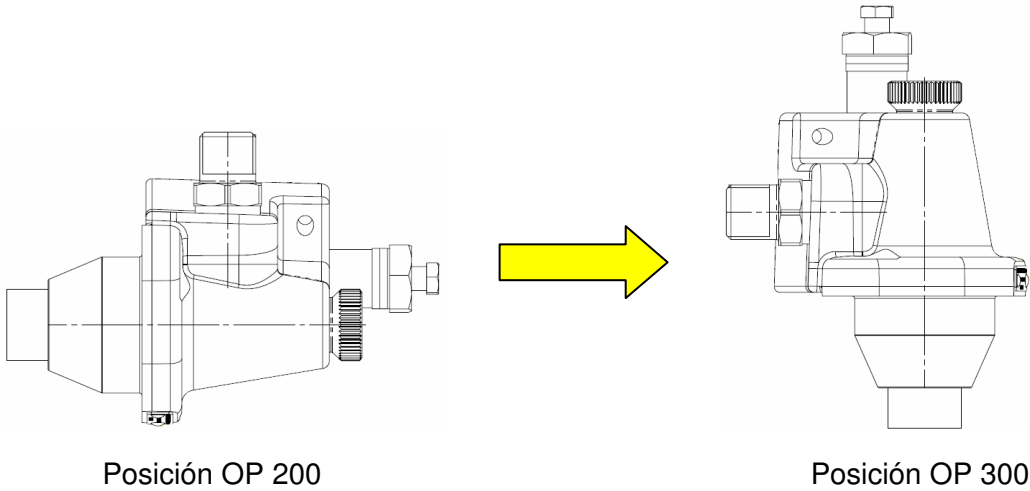
Esta estación de trabajo recibe el nombre de operación 200. Está formada por una mesa rotativa (turntable) con cuatro posiciones. Las acciones realizadas en dicha operación son automáticas a excepción de la carga y descarga. Además incluye una fijación integrada en cada una de las posiciones para sujetar el housing. En cada una de las fijaciones, se incluye un sensor óptico para verificar la presencia y la correcta posición del elemento.

#### I. **Estación 1:** Carga y descarga de housings

- Esquema del proceso:



Cuando el operario descarga el housing de la mesa rotativa, debe rotarlo 90° antes de cargarlo en la cinta transportadora.



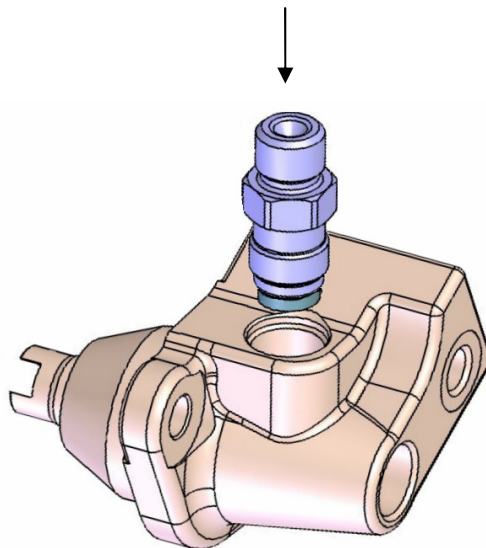
- **Requisitos:**

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

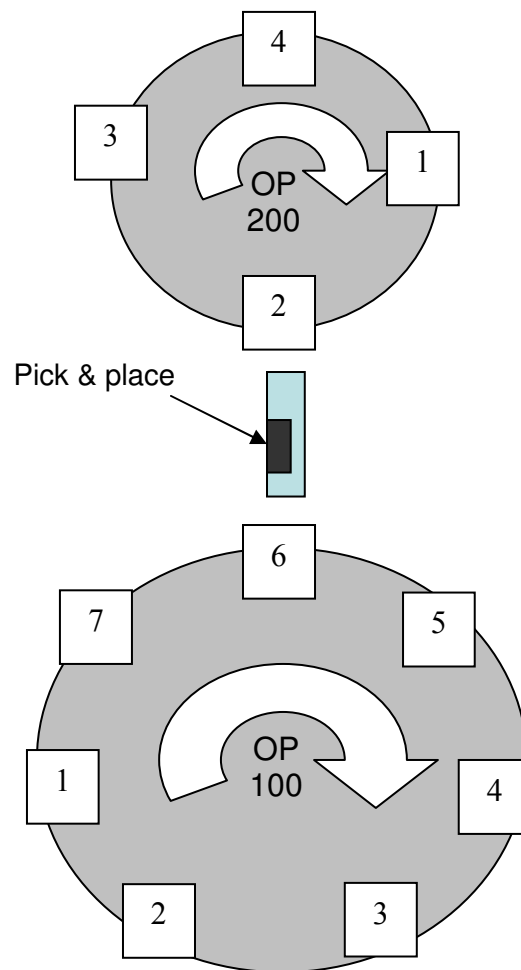
- Cinta transportadora (conveyor)

## II. **Estación 2:** Inserción HP outlet connector

- **Imagen del proceso:**



- Esquema del proceso:



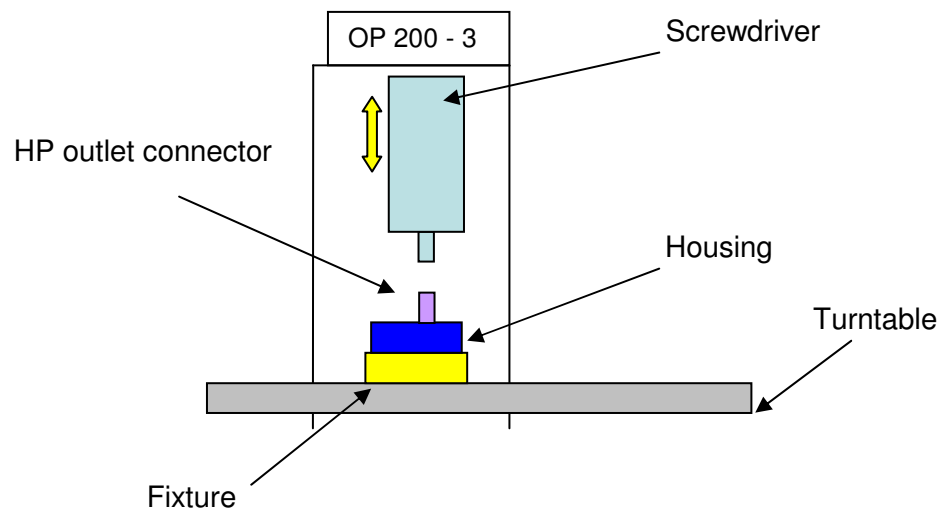
- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Pick & place (el mismo que en la OP 100-6)

### III. Estación 3: Roscado de HP outlet connector con housing

- Esquema del proceso:



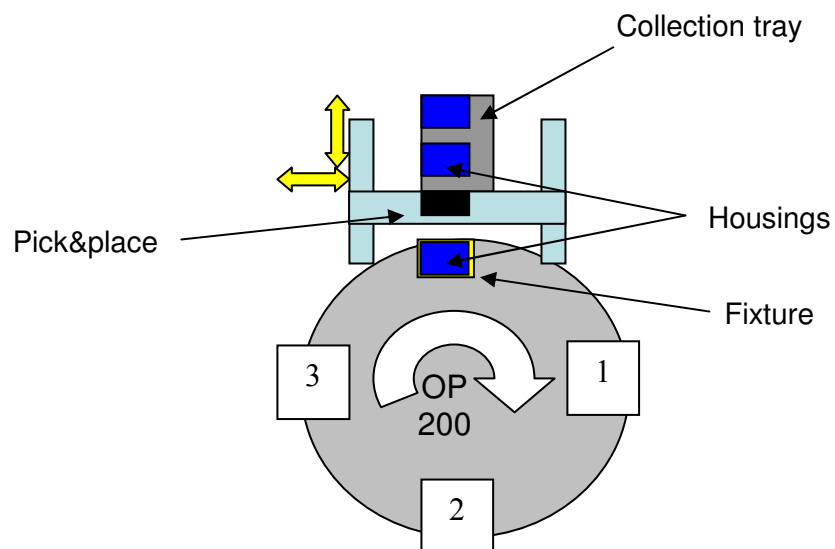
- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Atornillador eléctrico (screw driver)

### IV. Estación 4: Descarga bombas NOK

- Esquema del proceso:





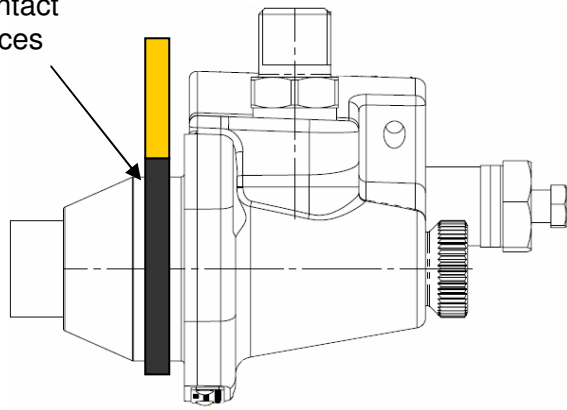
- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Pick & place



Contact  
faces

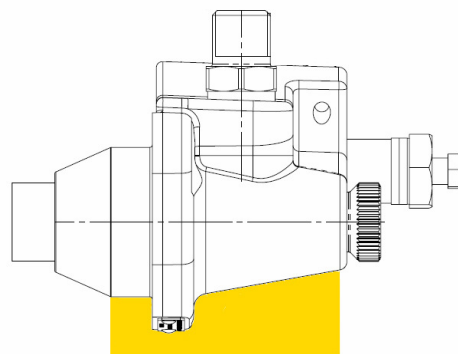
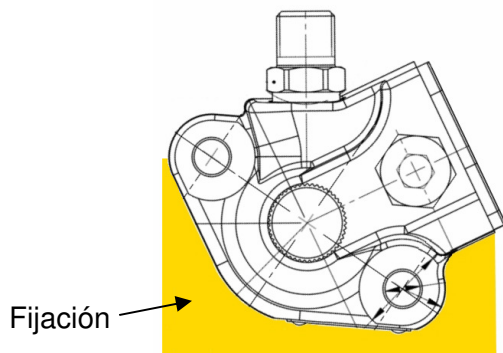


- Bandeja de recogida de piezas malas (NOK)

#### 3.4.1.2.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa

La fijación debe asegurar:

- Una posición correcta del housing en cada estación
- Una fijación correcta del housing durante cada una de las operaciones automáticas

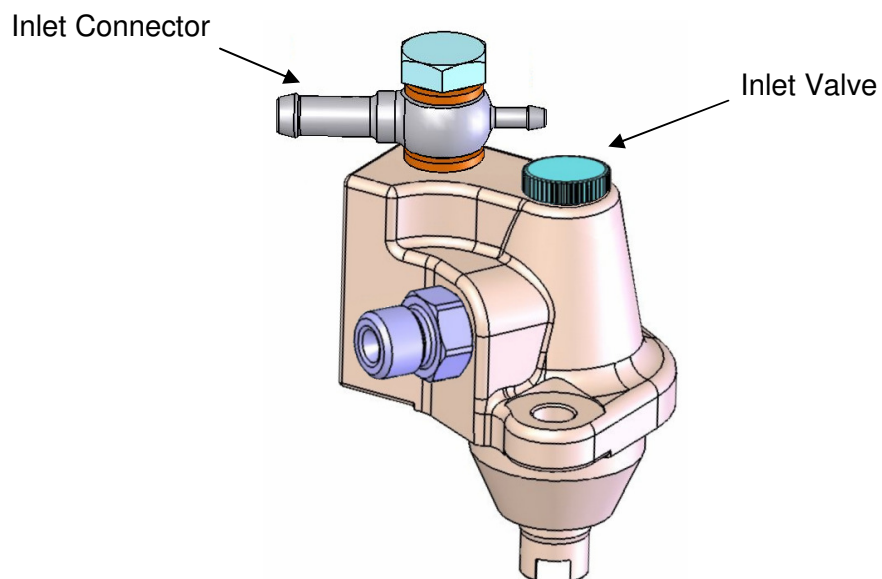


3.4.1.2.2. Flujo del proceso

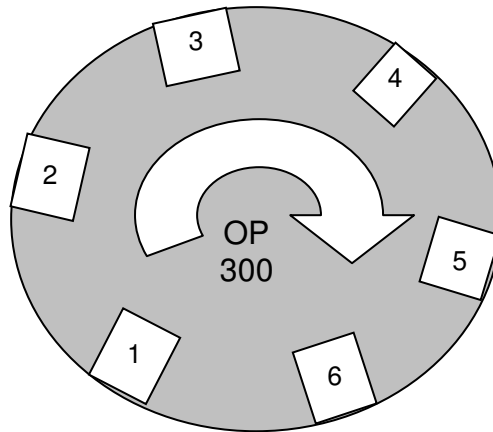
OP	Descripción	Manual / Automático	Comentarios	Tiempo (s)
200-1	Carga housing en mesa rotativa	Manual		2
200-2	Inserción HP outlet connector y verificación de montaje	Automático	Pick & place	2
200-3	Roscado de HP outlet connector en housing con atornillador electrico	Automático	Verificación par y ángulo	10
200-4	Descarga housing (NOK)	Automático	Pick & place	2
200-1	Descarga housing (OK)	Manual		2

3.4.1.3. OP 300 Sub-montaje housing

- Imagen del proceso:



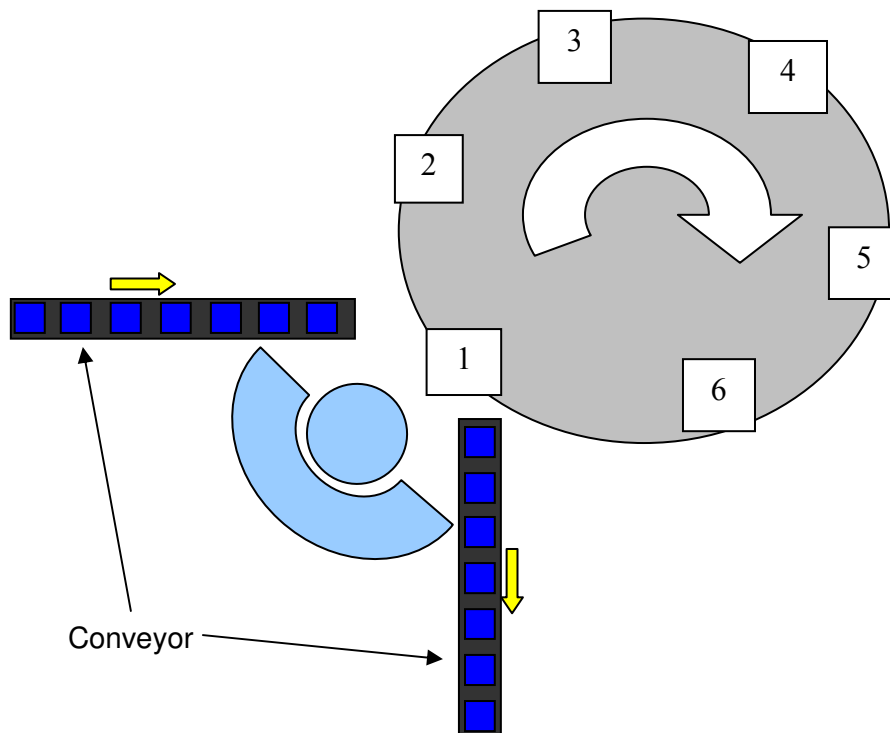
- Configuración de la estación de trabajo:



Esta estación de trabajo recibe el nombre de operación 300. Está formada por una mesa rotativa (turntable) con seis posiciones. Las acciones realizadas en esta operación son automáticas, exceptuando la carga y la descarga. Además incluye una fijación integrada en cada una de las posiciones para sujetar el housing. En cada una de las fijaciones, se incluye un sensor óptico para verificar la presencia y la correcta posición del elemento.

#### I. Estación 1: Carga y descarga

- Esquema del proceso:



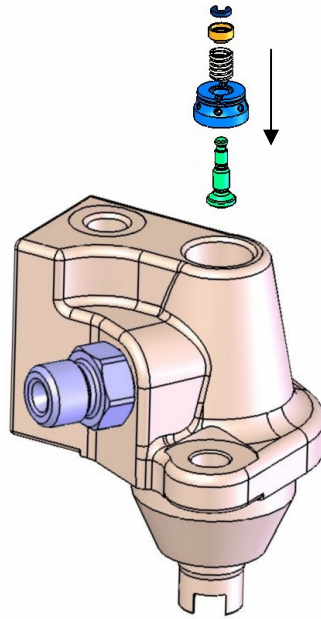
- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Cinta transportadora

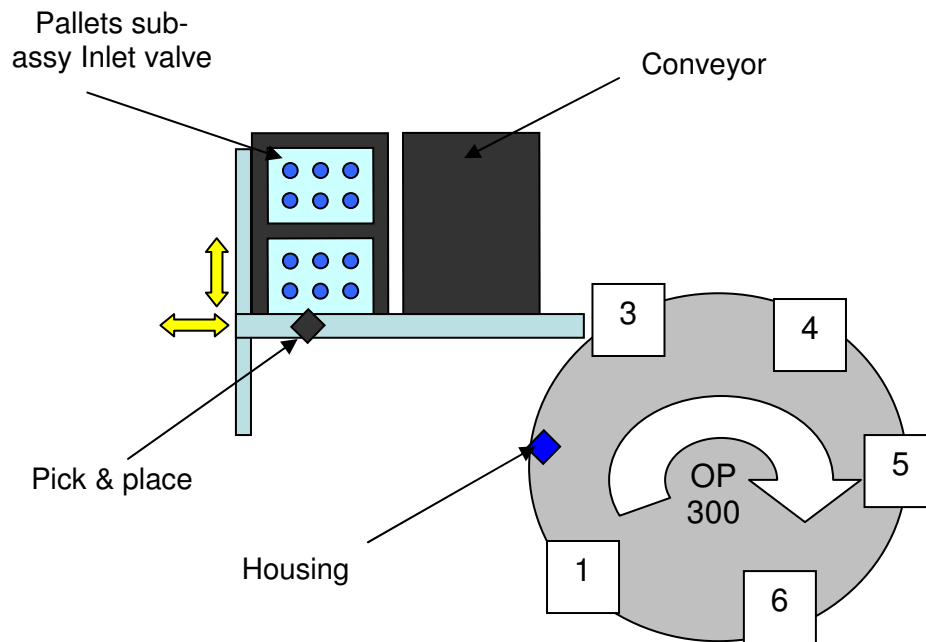
## II. Estación 2: Montaje inlet valve

- Imagen del proceso:



En este proceso solo se introduce el sub-conjunto de la inlet valve en el interior del housing. El sub-montaje, viene montado directamente de proveedor para evitar trabajar con piezas de tamaño muy reducido que solo encarecerán el proceso a causa de la elevada precisión que requiere su montaje.

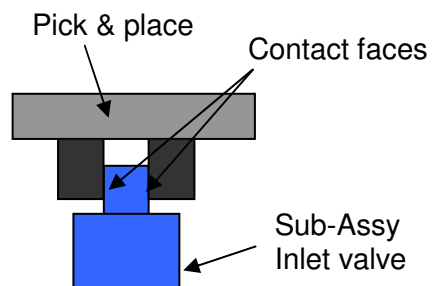
▪ Esquema del proceso:



▪ Requisitos:

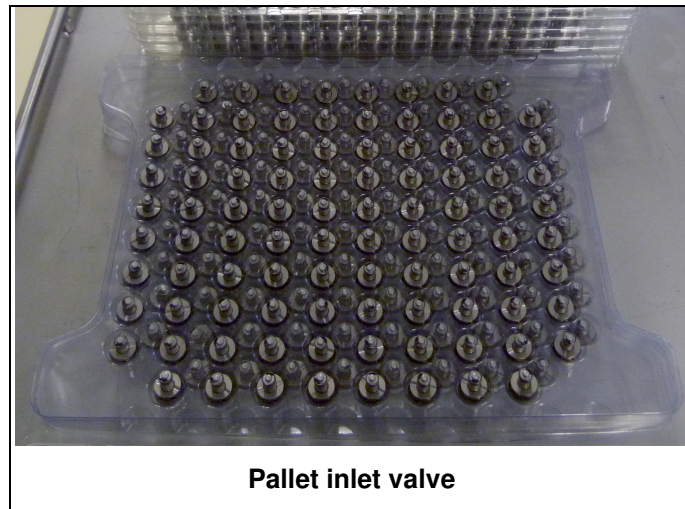
Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Pick & place



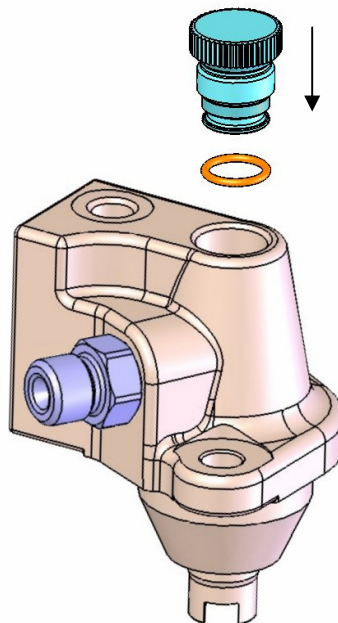
- Cinta transportadora

A continuación se muque muestra un pastra una imagen con un modelo de pallet para la inlet valve:

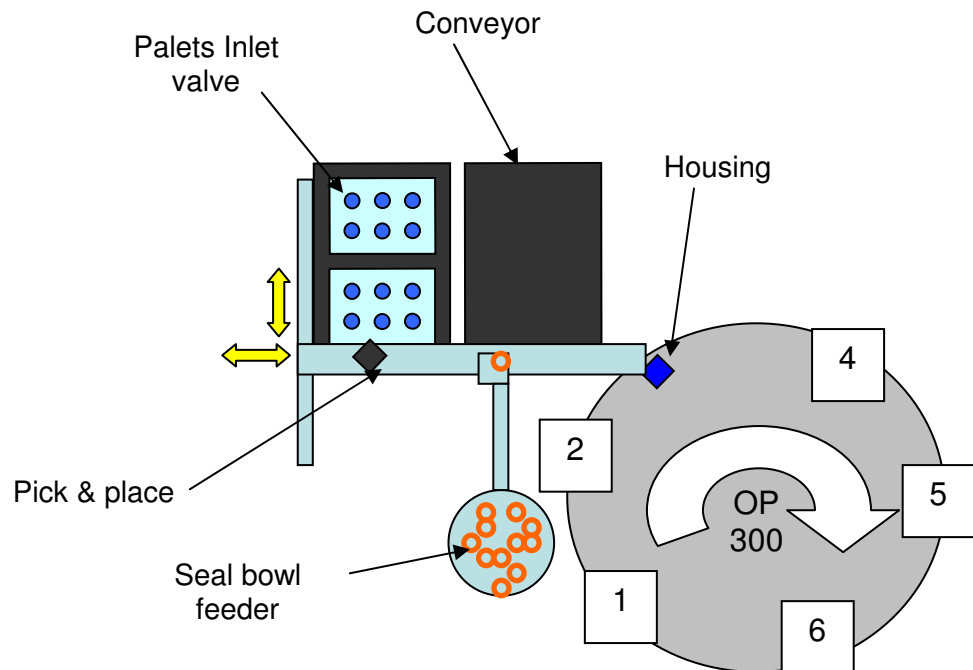


### III. Estación 3: Montaje screw inlet valve

- Imagen del proceso:



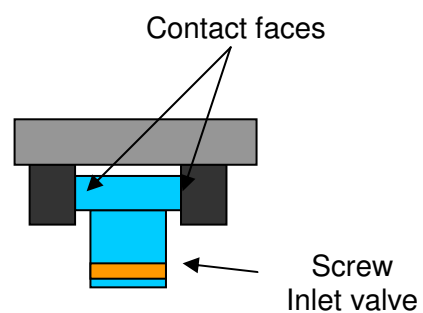
- Esquema del proceso:



- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Pick & place



- Suministrador de juntas (seal bowl feeder)



Una vez la junta es suministrada, se debe insertar en el tornillo de la inlet valve para asegurar una buena estanquidad al ser montado en el housing.

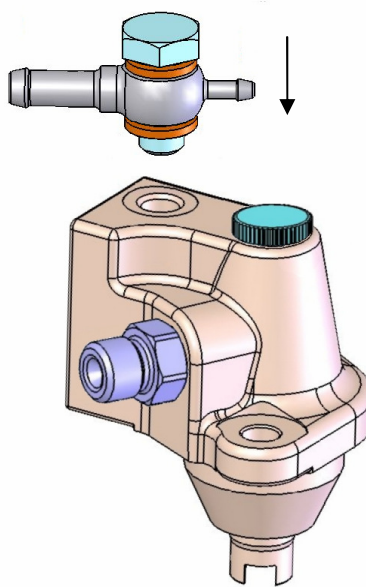


- Cinta transportadora

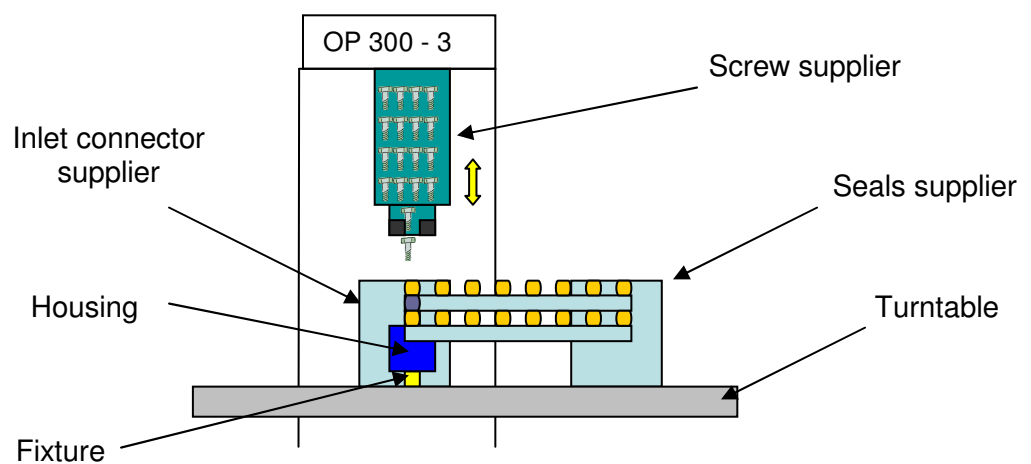
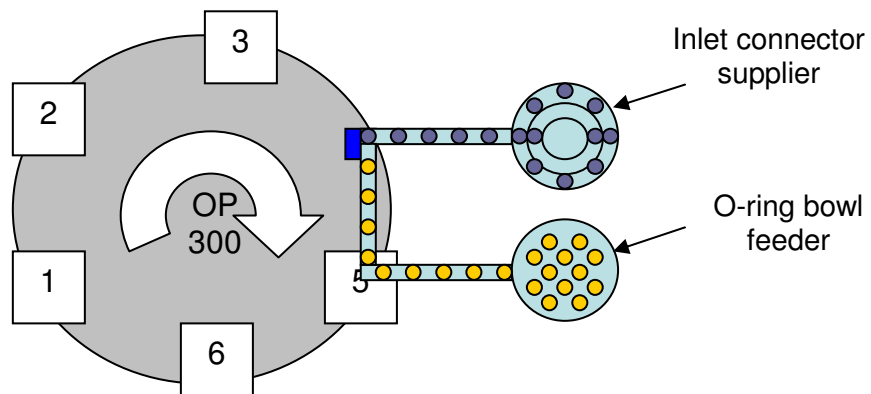


#### IV. Estación 4: Montaje inlet connector

- Imagen del proceso:



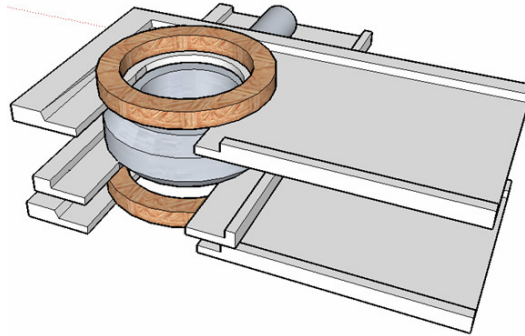
- Esquema del proceso:



- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

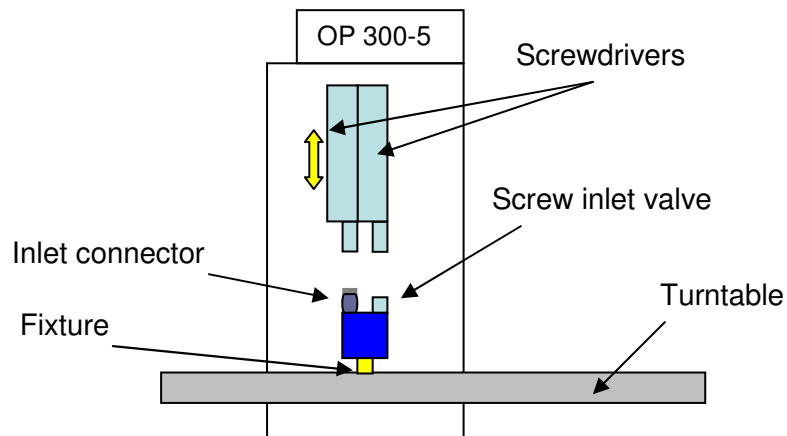
- Suministrador inlet connector automático



- Alimentador O-ring automático
- Alimentador tornillos (screws)

#### V. Estación 5: Roscado inlet valve & inlet connector

- Esquema del proceso:



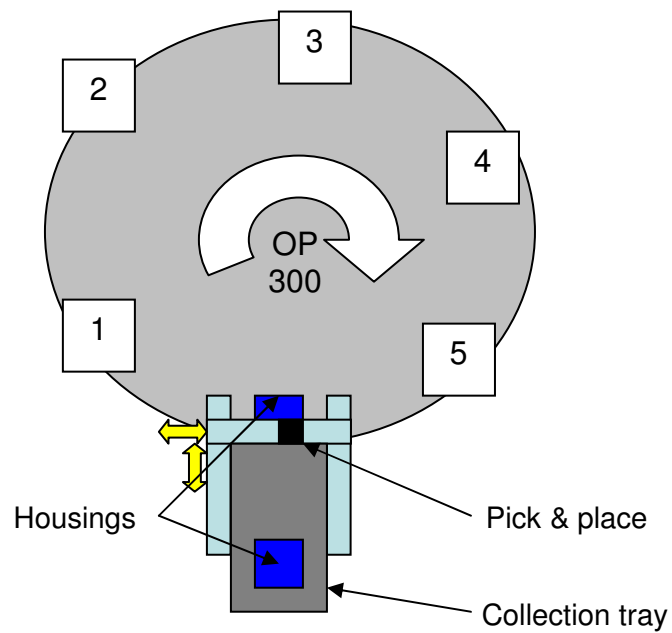
- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Atornilladores eléctricos

## VI. Estación 6: Descarga bombas NOK

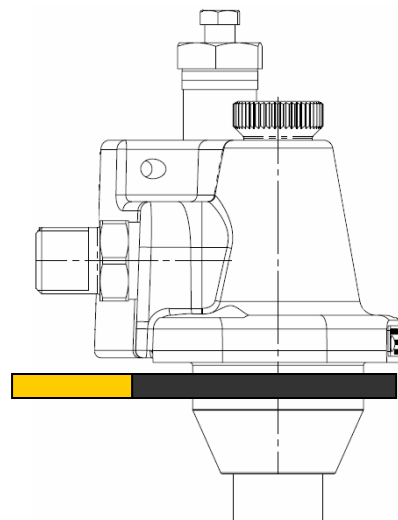
- Esquema del proceso:



- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Pick & place

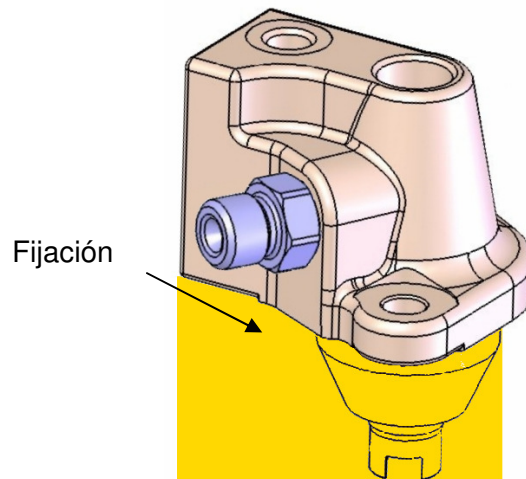


- Bandeja de recogida (collection tray)

#### 3.4.1.3.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa

La fijación debe asegurar:

- Una posición correcta del housing en cada estación
- Una fijación correcta del housing durante cada una de las operaciones automáticas
- 



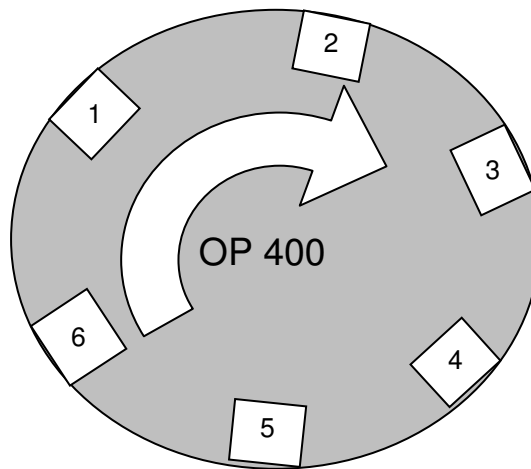
#### 3.4.1.3.2. Flujo del proceso

OP	Descripción	Manual / Automático	Comentarios	Tiempo (s)
300-1	Carga housing	Manual		2
300-2	Insertar sub-conjunto inlet valve en housing	Automático	Pick & place	2
300-3	Montaje tornillo de inlet valve	Automático	Mismo pick & place estación anterior	2
300-4	Inserción inlet connector	Automático	Alimentador automático	5
300-5	Roscado Inlet valve & Inlet connector	Automático	Atornillador eléctrico (2): verificar PAR y ángulo	10
300-6	Descarga NOK	Automático	Pick & place	2
300-1	Descarga OK	Manual		2

#### 3.4.1.4. OP 400 Lavado

A causa de los roscados realizados en la operación anterior, se desprenden pequeñas partículas que pueden dañar y obstruir los orificios de entrada y salida de los distintos componentes montados hasta el momento. Es por ello, que se requiere un lavado con agua a alta presión para luego introducir la bomba lavada en la sala blanca<sup>7</sup> y seguir con el montaje de la bomba.

- Configuración de la estación de trabajo:



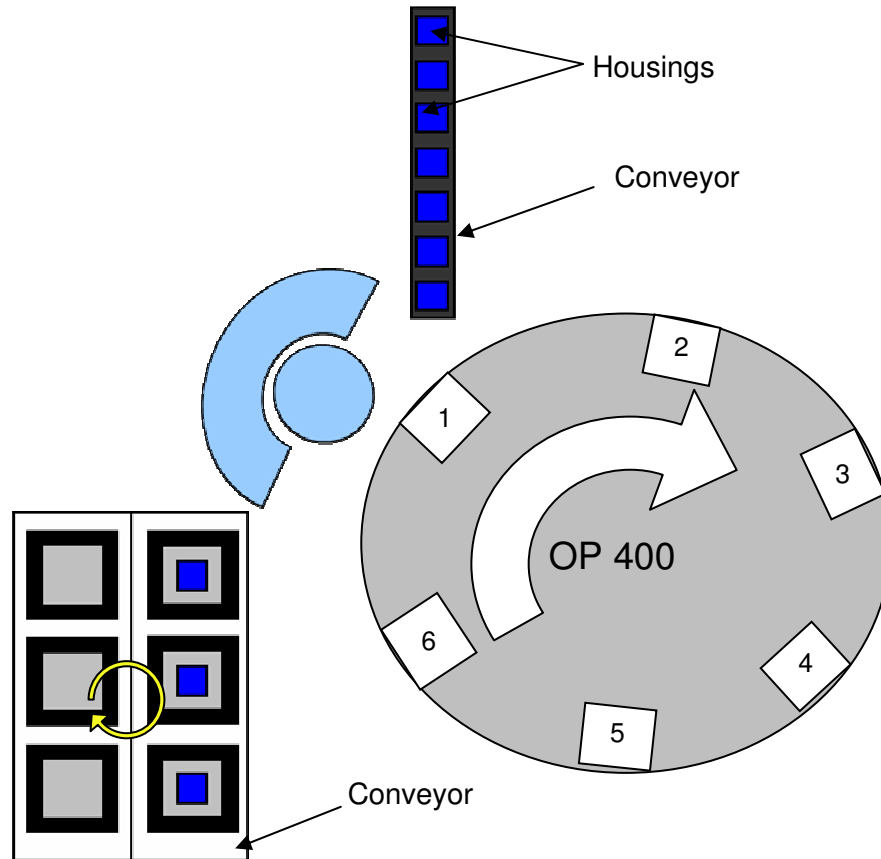
Esta estación de trabajo recibe el nombre de operación 400. Está formada por una mesa rotativa con seis posiciones. Las acciones realizadas en dicha operación son automáticas, excepto la carga y descarga que se realiza manualmente. Además incluye una fijación integrada en cada una de las posiciones para sujetar el housing. En cada una de estas fijaciones, se incluye un sensor óptico para verificar la presencia y la correcta posición del elemento.

---

<sup>7</sup> sala diseñada para obtener bajos niveles de contaminación. Se suele controlar partículas en aire, temperatura, humedad, flujo de aire, presión interior del aire e iluminación.

I. **Estación 1: Carga y descarga**

- Esquema del proceso:



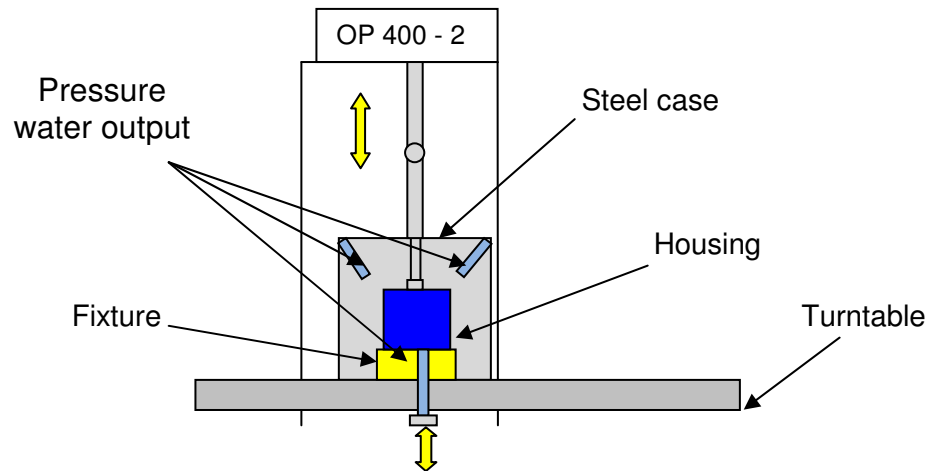
- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Cinta transportadora

## II. Estación 2: Primer lavado a alta presión

- Esquema del proceso:



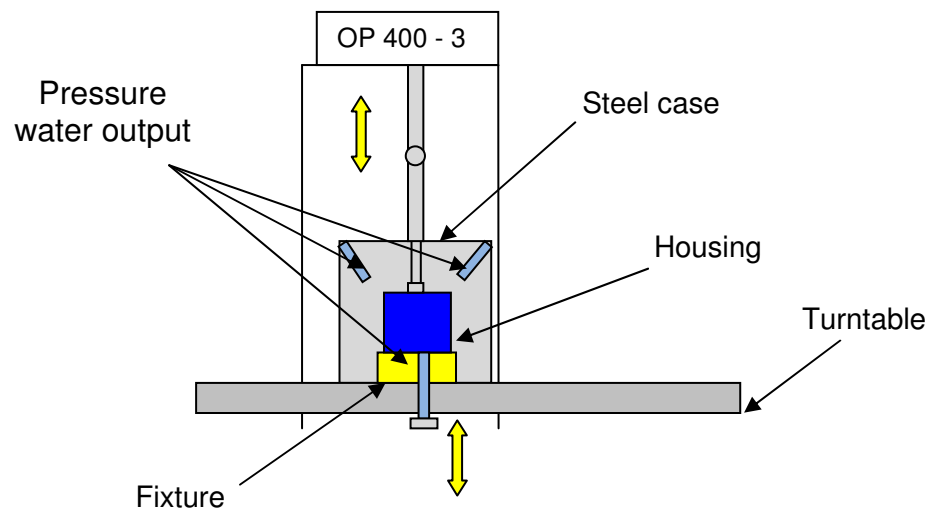
- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Carcasa de acero con dos conexiones de agua a presión
- Conexión inferior para agua a presión

## III. Estación 3: Segundo lavado a alta presión

- Esquema del proceso:



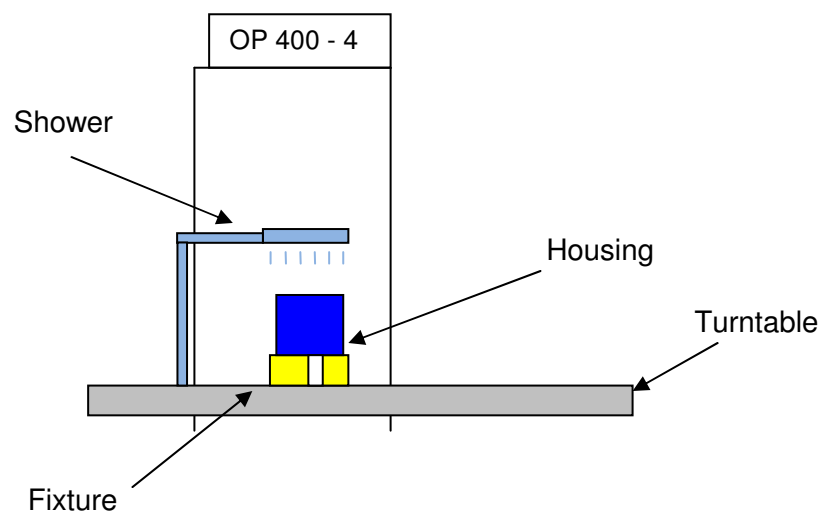
- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Carcasa de acero con dos conexiones de agua a presión
- Conexión de agua a presión inferior

#### IV. Estación 4: Aclarado

- Esquema del proceso:



- Requisitos:

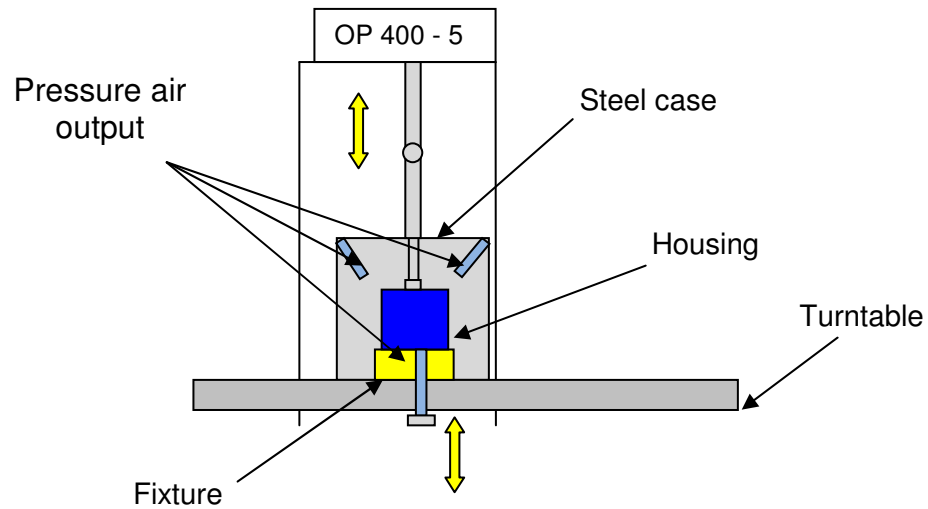
Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Ducha con conexión para agua



## V. Estación 5: Primer secado

- Esquema del proceso:



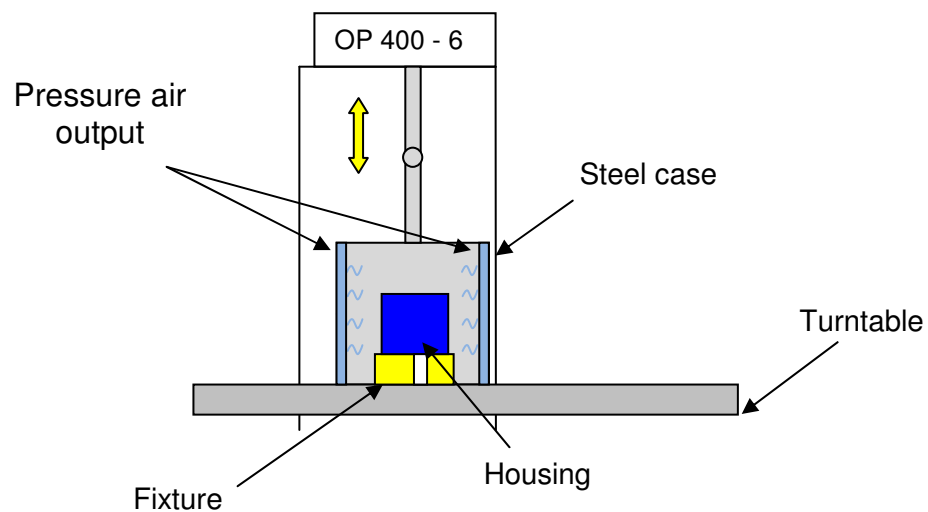
- Requisitos:

Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Carcasa de acero con dos conexiones de aire a presión
- Conexión de aire a presión inferior

## VI. Estación 6: Segundo secado

- Esquema del proceso:



▪ Requisitos:

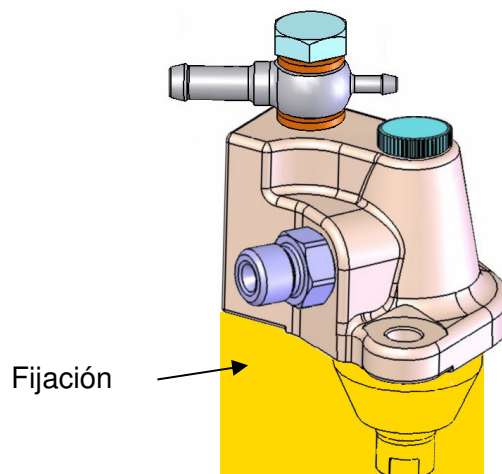
Para el correcto funcionamiento de la estación son necesarios los siguientes componentes:

- Carcasa de acero con dos tuberías para salida de aire a alta temperatura

1.4.1.4.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa

La fijación debe asegurar:

- Una posición correcta del housing en cada estación
- Una fijación correcta del housing durante cada una de las operaciones automáticas



La fijación del housing deberá tener una ranura para entrada y salida de agua/aire.

1.4.1.4.2. Flujo del proceso

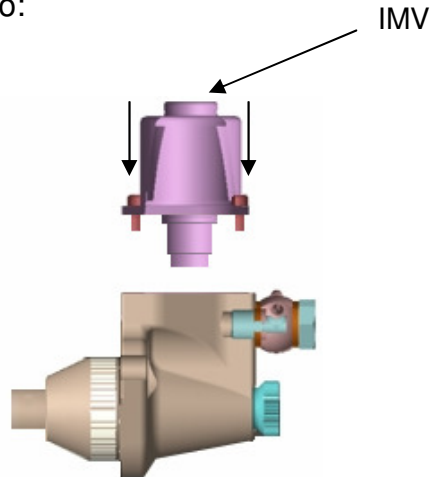
OP	Description	Manual / Automatic	Comments	Tiempo (s)
400-1	Carga housing	Manual		2
400-2	Primer lavado	Automático		25
400-3	Segundo lavado	Automático		25

400-4	Aclarado	Automático		15
400-5	Primer secado	Automático		15
400-6	Segundo secado	Automático		15
400-1	Descarga housing	Manual		2

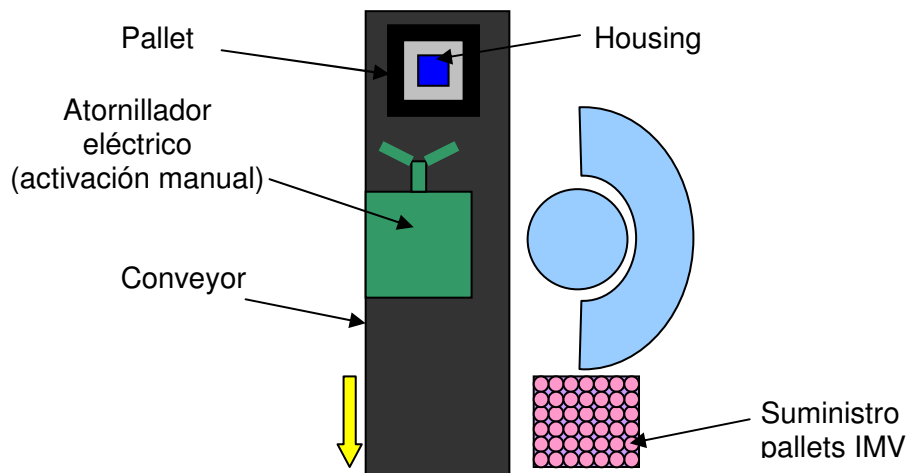
#### 3.4.1.5. OP 500 Montaje IMV

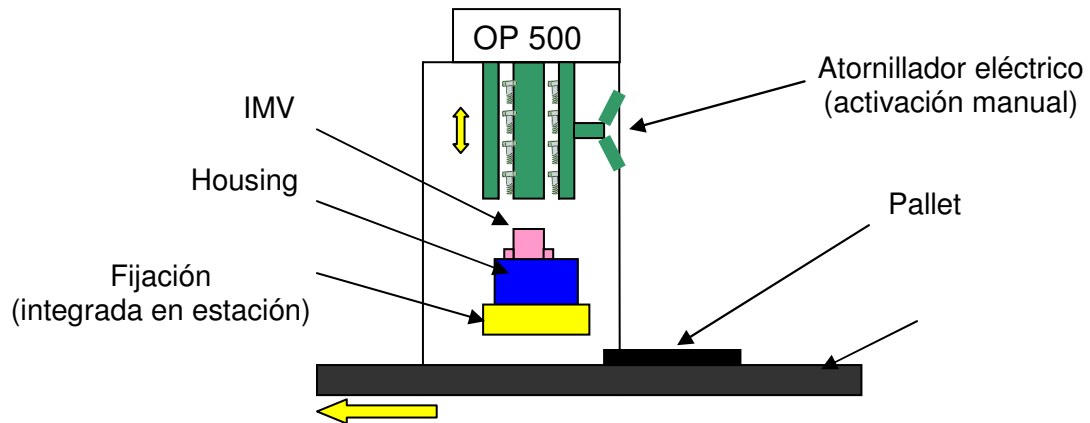
Cuando la bomba sale de la operación anterior, esta se deposita en un pallet que le conducirá a las siguientes operaciones hasta el final de la línea. De este modo nos aseguramos que la bomba no recibe ningún golpe.

- Imagen del proceso:



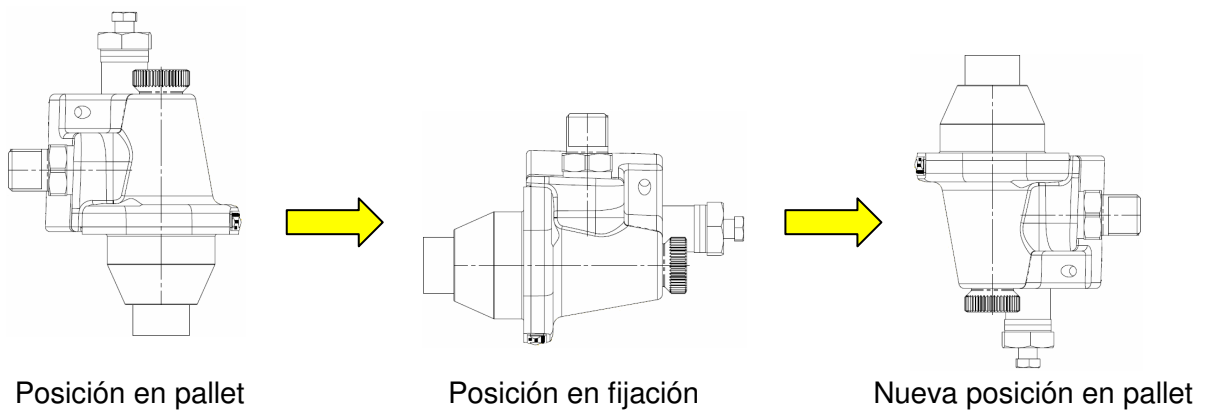
- Configuración de la estación de trabajo:



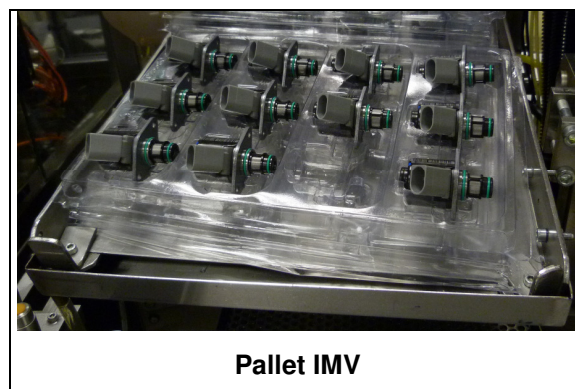


Para facilitar el proceso, los tornillos se suministran lateralmente, de este modo ya quedan apuntados y solo hay que roscarlos.

Cuando la IMV ha sido montada, el operador debe girar la bomba y colocarla de nuevo en el pallet.



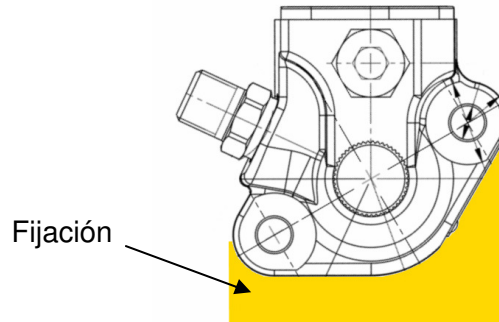
- Requisitos:
  - Atornillador eléctrico
  - Suministrador de tornillos



#### 3.4.1.5.1. Configuración de la fijación en estación

La fijación debe asegurar:

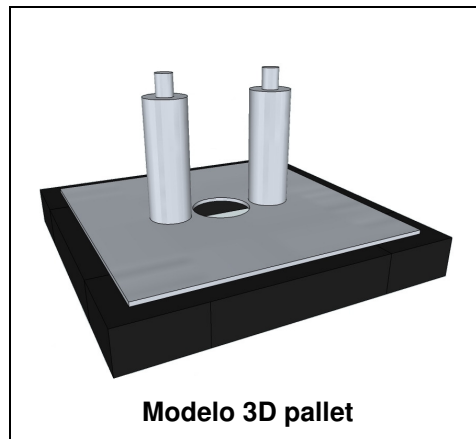
- Una posición correcta del housing en la fijación
- Una fijación correcta del housing durante la operación



#### 3.4.1.5.2. Configuración del pallet

El pallet debe asegurar:

- Localización correcta de la bomba en las distintas estaciones de trabajo
- Fijación correcta de la bomba durante las distintas operaciones
- Evitar golpes entre las bombas



#### 3.4.1.5.3. Flujo del proceso

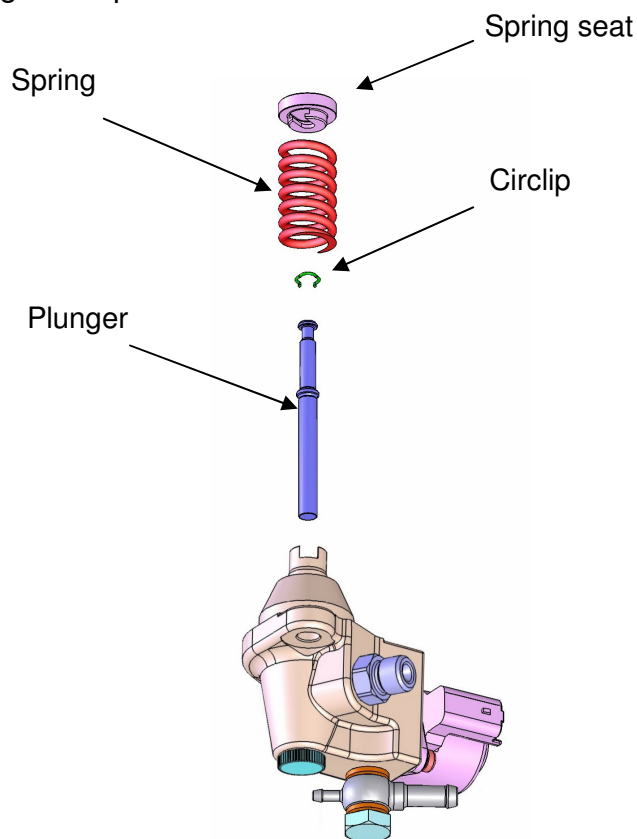
OP	Descripción	Manual / Automático	Comentarios	Tiempo (s)
500	Descargar housing del pallet	Manual	Posición vertical housing	2

### Diseño de la secuencia de montaje de una bomba de alta presión

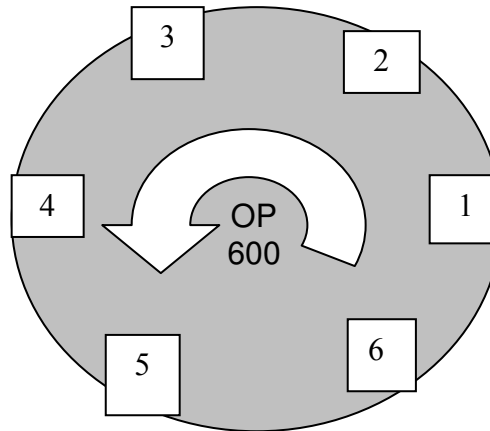
500	Rotar housing	Manual	Posición horizontal housing	1
500	Cargar housing en fijación	Manual	Posición horizontal	2
500	Montaje IMV en housing	Manual		4
500	Suministro tornillos	Automático		2
500	Activación atornillador eléctrico	Manual	Par y ángulo Data matrix IMV	10
500	Descarga housing de fijación	Manual	Posición horizontal housing	2
500	Rotar housing	Manual	Posición vertical housing	1
500	Cargar housing en pallet	Manual	Posición vertical housing invertida	2
500	Apretar botón de línea	Manual		1

#### 3.4.1.6. OP 600 Matching

- Imagen del proceso:



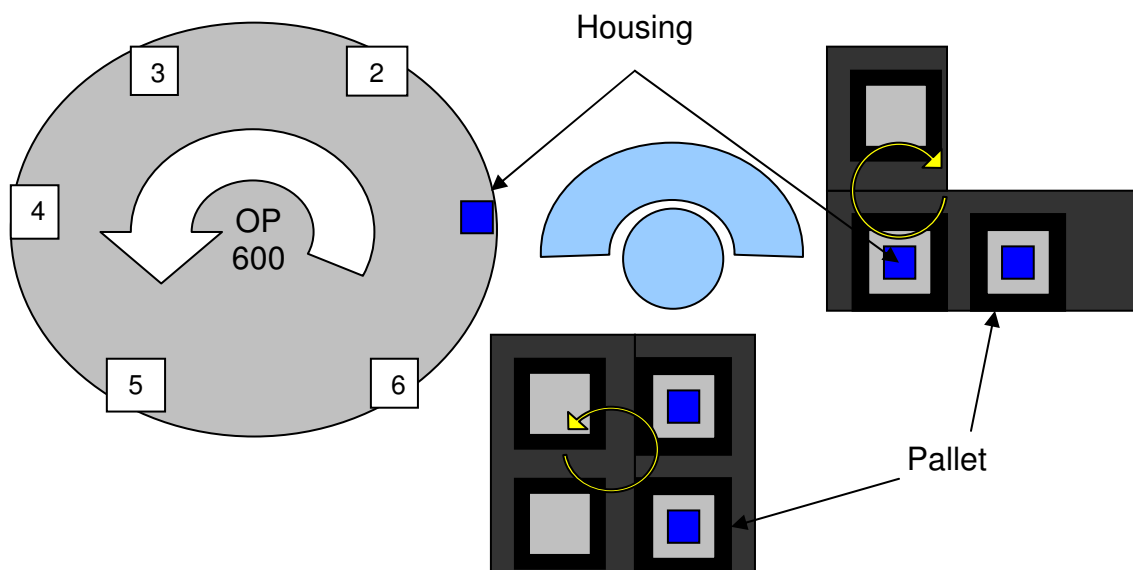
- Configuración de la estación de trabajo:



Esta estación de trabajo recibe el nombre de operación 600. Está formada por una mesa rotativa con seis posiciones. Las acciones realizadas en dicha operación son automáticas, excepto la carga y descarga que se hace manualmente. Además incluye una fijación integrada en cada una de las posiciones para sujetar el housing. En cada una de estas fijaciones, se incluye un sensor óptico para verificar la presencia y la correcta posición del elemento.

#### I. Estación 1: Carga y descarga

- Esquema del proceso:

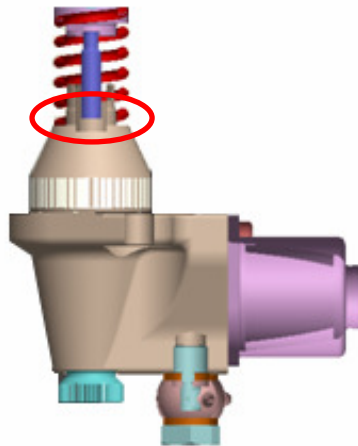


- Requisitos:
  - Cinta transportadora

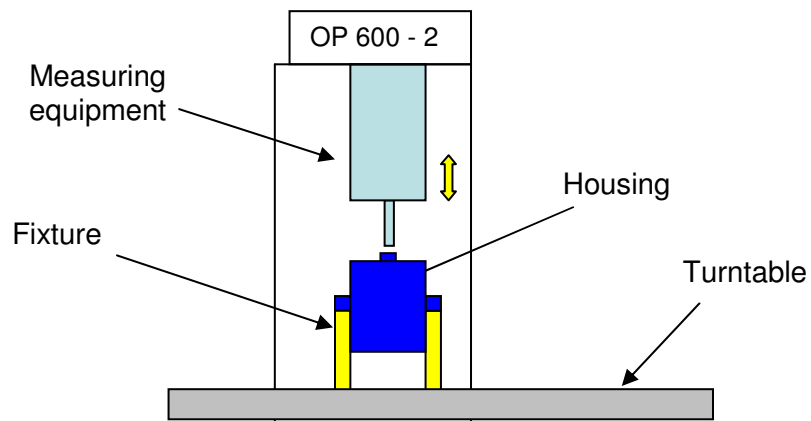
## II. **Estación 2:** Medición orificio housing

Este sistema de medición tiene la finalidad de medir el orificio por donde pasará el plunger. Esta acción se realiza para introducir un plunger con la menor tolerancia posible.

- Imagen del proceso:



- Esquema del proceso:



- Requisitos:
  - Sistema medición orificio housing

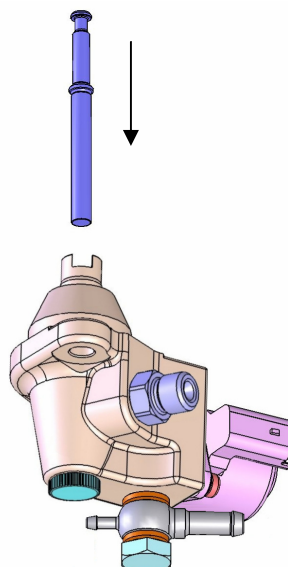




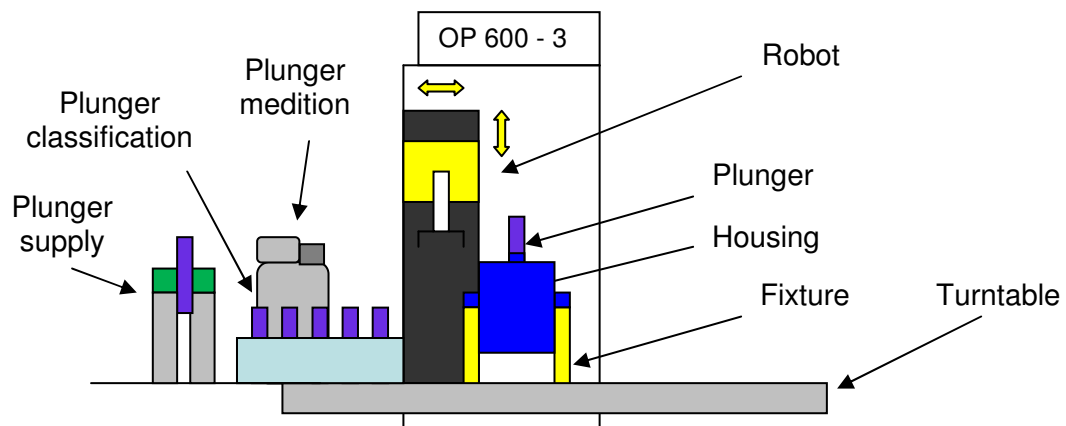
### III. **Estación 3:** Inserción del plunger

Como se ha comentado anteriormente, nos interesa una tolerancia mínima, es por ello, que antes de suministrar los plungers, estos se miden y clasifican por diámetros. Posteriormente, un programa elige el más adecuado para cada housing.

- Imagen del proceso:

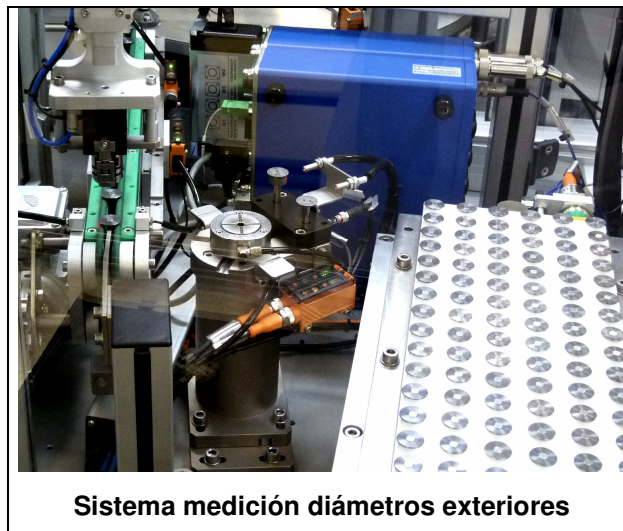


▪ Esquema del proceso:



▪ Requisitos:

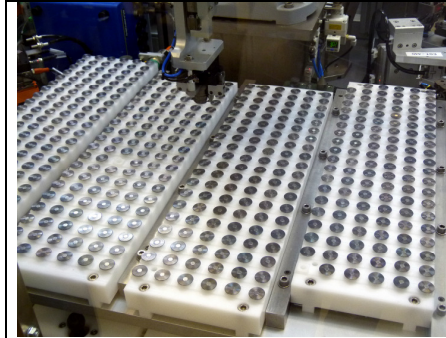
- Suministro plungers
- Equipo medición diámetro del plunger



Como se ha dicho, antes de clasificarlos deben ser medidos.

Tal y como muestra la imagen, el suministro se hace mediante una pequeña cinta transportadora (color verde).

- Bandeja clasificación plungers



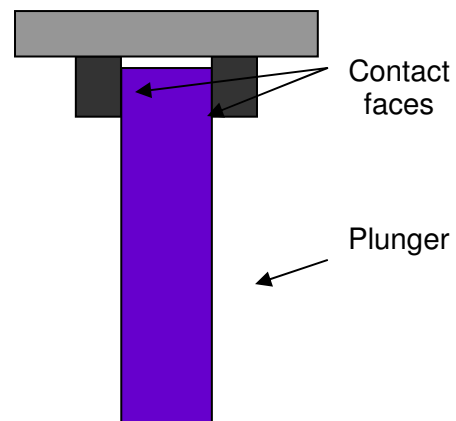
**Bandejas clasificación**

- Robot SCARA (Selective Compliant Articulated Robot Arm) con pick & place en el extremo



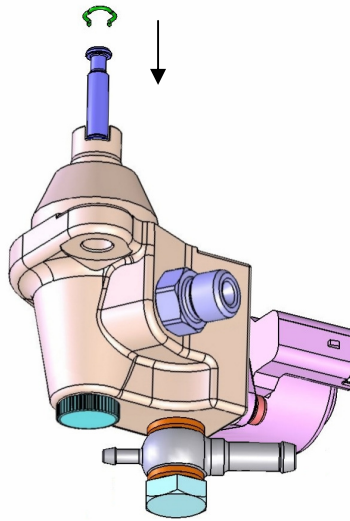
**SCARA Robot**

[www.factronics.com.sg](http://www.factronics.com.sg)

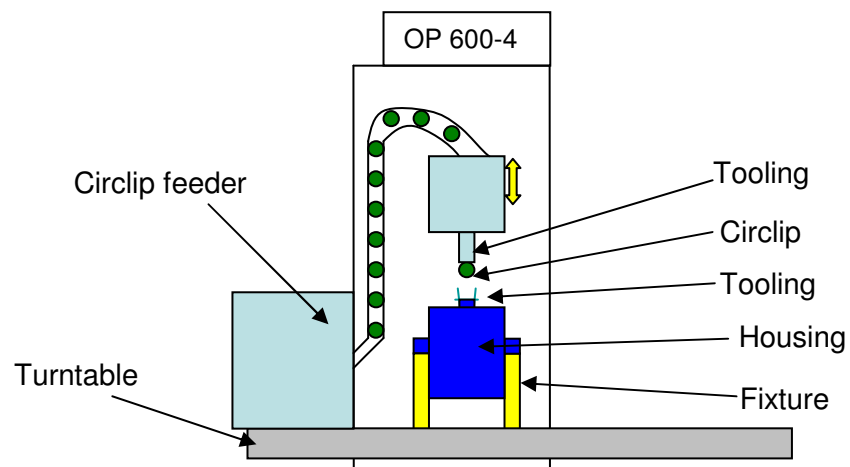


#### IV. Estación 4: Inserción circlip

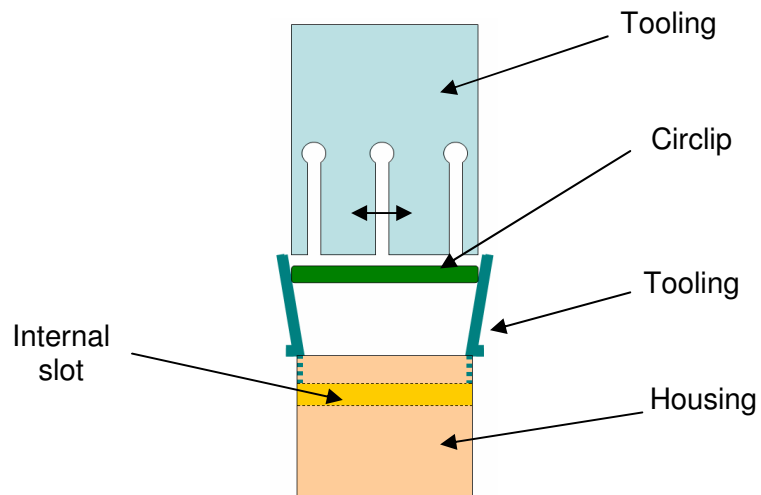
- Imagen del proceso:



- Esquema del proceso:

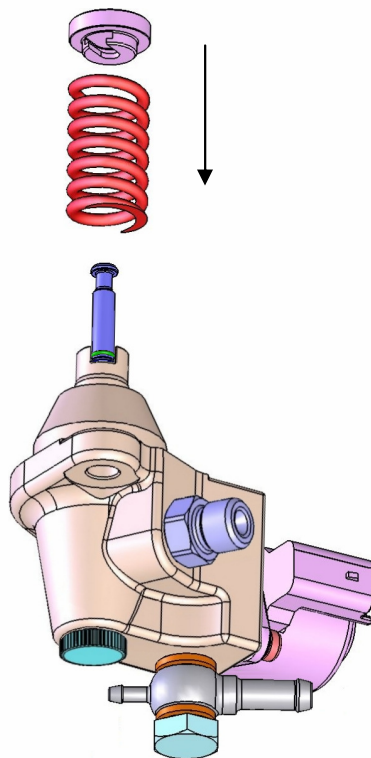


- Requisitos:
  - Suministrador circlips (feeder)
  - Utillajes metálicos (toolings) para facilitar la inserción del circlip

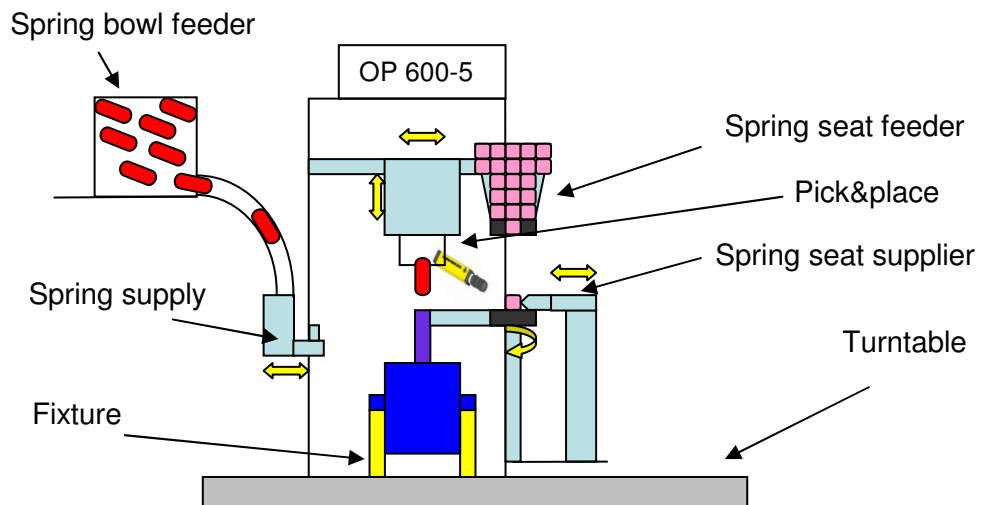


V. **Estación 5:** Inserción spring y spring seat

- Imagen del proceso:

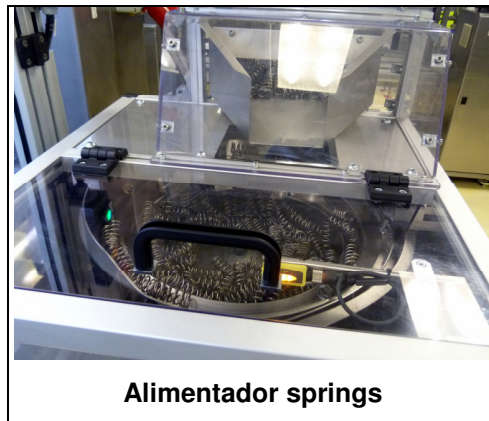


▪ Esquema del proceso:

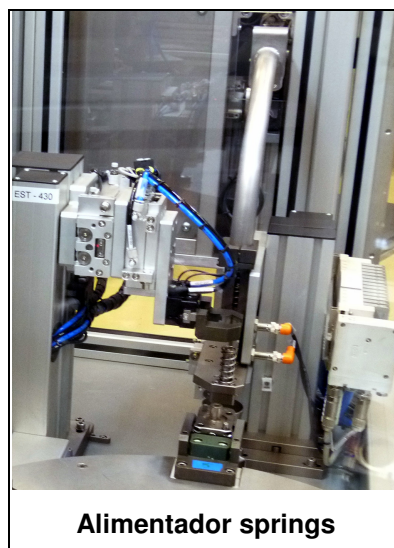


▪ Requisitos:

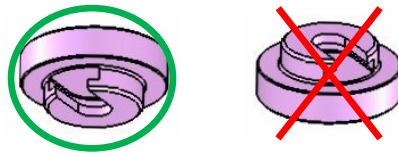
- Alimentador springs (bowl feeder)



- Suministrador springs

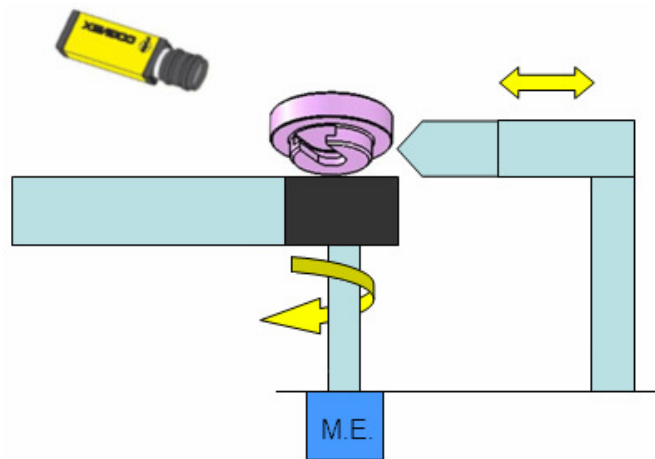


- Alimentador spring seats con sistema poka yoke para una correcta posición



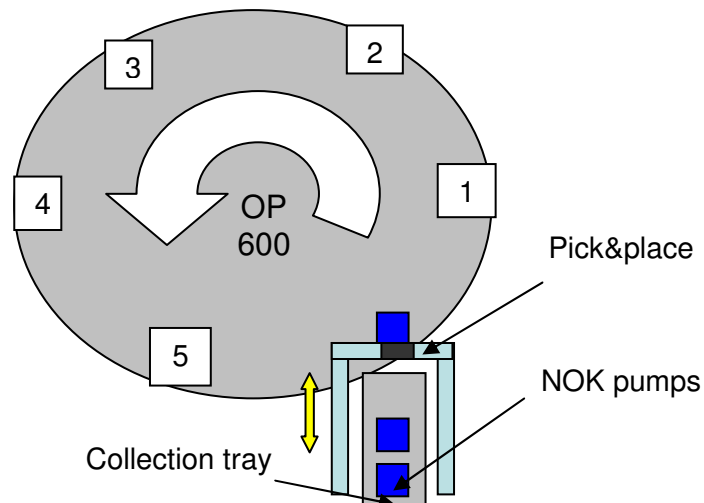
- Suministrador spring seats

Cuando el spring seat es colocado en la pletina, un control por cámara realiza una fotografía. Mediante esta, se toma una posición inicial y la pletina gira los grados necesarios para orientarlo correctamente antes de insertarlo en el plunger.

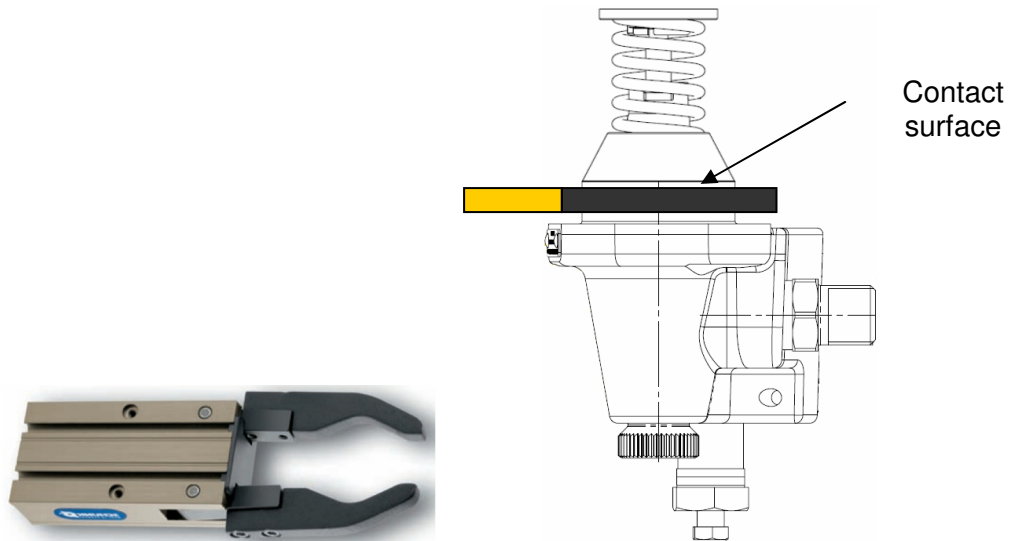


## VI. Estación 6: Descarga bombas malas (NOK)

- Esquema del proceso:



- Requisitos:
  - Pick & place

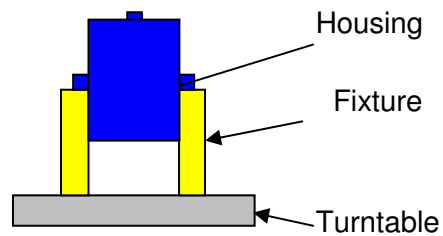


- Bandeja de recogida

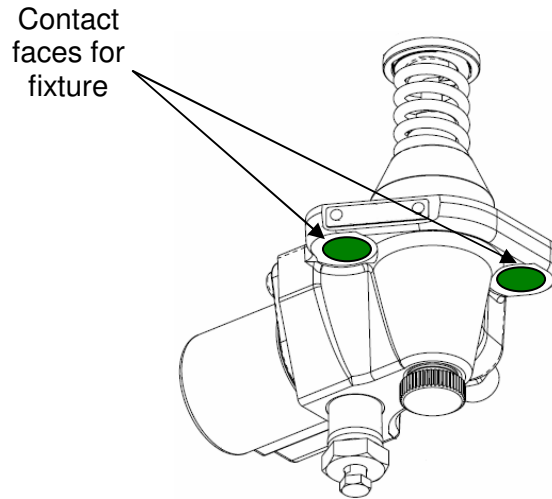
#### 3.4.1.6.1. Configuración de la fijación en mesa rotativa

La fijación debe asegurar:

- Una posición correcta de la bomba en cada estación
- Una fijación correcta de la bomba durante cada una de las operaciones automáticas







#### 3.4.1.6.2. Flujo del proceso

OP	Descripción	Manual / Automático	Comentarios	Tiempo (s)
600-1	Carga housing en mesa rotativa	Manual	Lector Data matrix	2
600-2	Medir diámetro interno housing	Automático		10
600-3	Clasificación plungers	Automático		4
600-3	Inserción plunger	Automático	Pick & place	2
600-4	Inserción circlip	Automático		20
600-5	Inserción spring	Automático	Alimentador springs	5
600-5	Montaje spring seat en plunger	Automático	Pick & place	5
600-6	Descarga bombas NOK	Automático	Pick&place	2
600-1	Descarga bombas OK	Manual		2

#### 3.4.1.7. OP 700 Test funcional

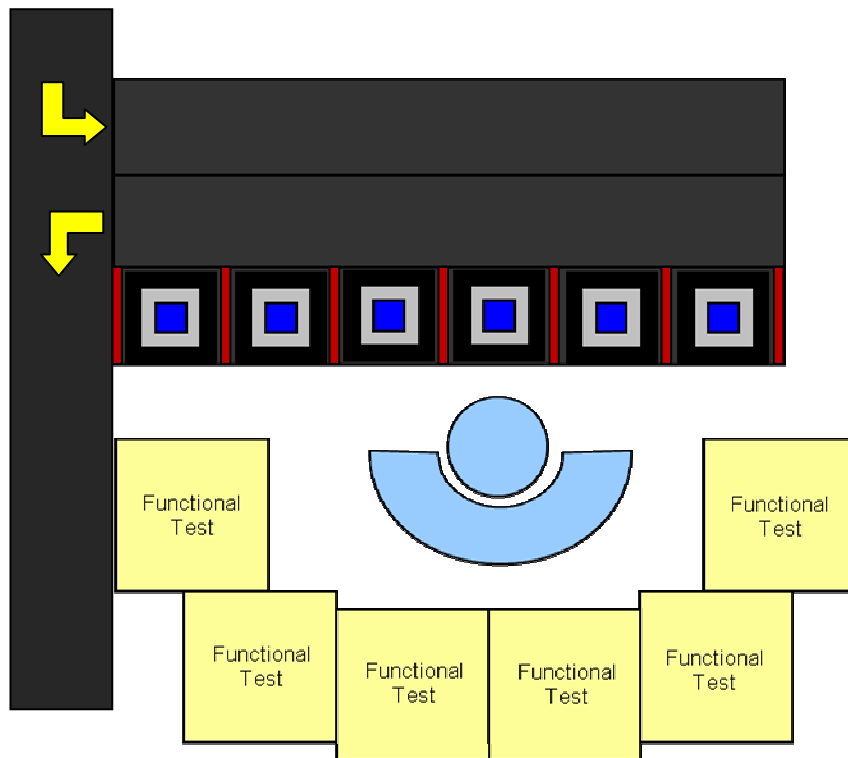
A modo de verificar el correcto funcionamiento de las bombas montadas es necesario que todas pasen por un control antes de ser entregadas al cliente. Para ello, suelen diseñarse unas máquinas capaces de medir, entre otros, los siguientes parámetros:

- Presión de entrada
- Presión máxima
- Par máximo
- Caudal sobrante de aceite
- Funcionamiento de la IMV

Al tratar este proyecto de la secuencia de montaje, no se especifica ningún tipo de requisito ni se marcan los límites de funcionamiento de la bomba al realizar las pruebas. Para entender mejor el test funcional, se adjunta los resultados de las pruebas realizadas a una bomba similar.

[Ver anexo 4](#)

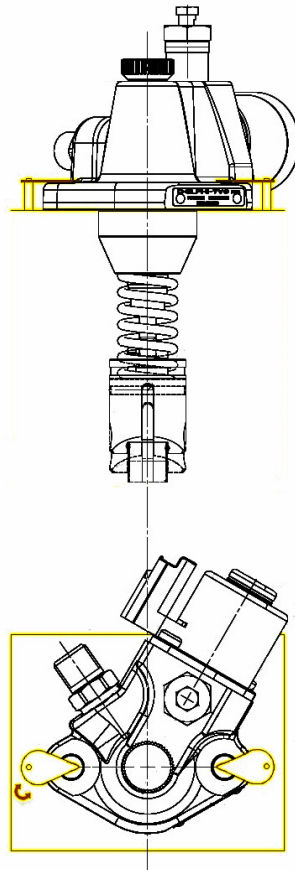
- Configuración de la estación de trabajo:



#### 3.4.1.7.1. Configuración de la fijación en estación

La fijación debe asegurar:

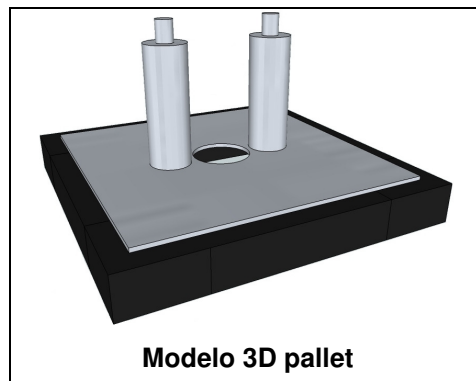
- Una posición correcta de la bomba en la estación
- Una fijación correcta de la bomba durante las operaciones



#### 3.4.1.7.2. Configuración del pallet

El pallet debe asegurar:

- Localización correcta de la bomba en las distintas estaciones de trabajo
- Fijación correcta de la bomba durante las distintas operaciones
- Evitar golpes entre las bombas



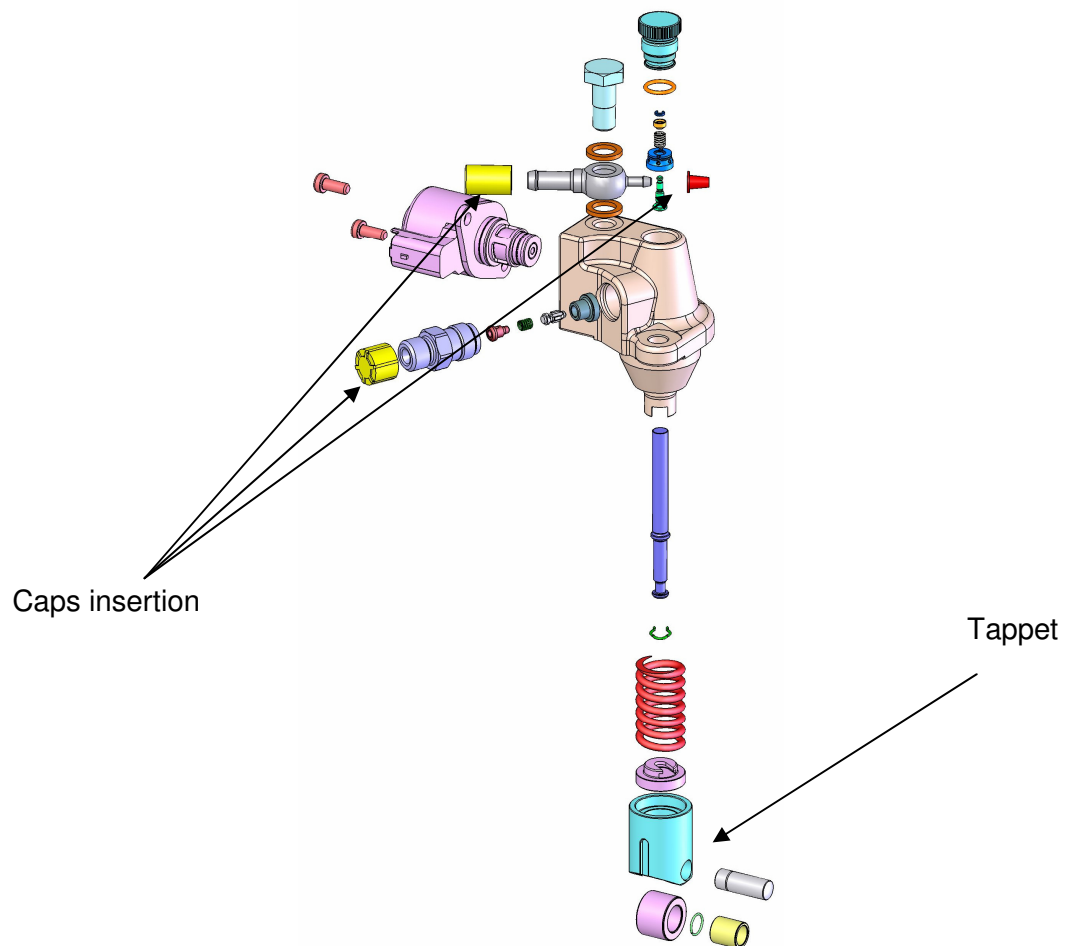
3.4.1.7.4. Flujo del proceso

<b>OP</b>	<b>Descripción</b>	<b>Manual / Automático</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Tiempo (s)</b>
710	Descarga bomba del pallet	Manual		2
720	Carga de la bomba en maquina	Manual		2
730	Descarga de la bomba de maquina	Manual		2
740	Carga de bomba en pallet	Manual		2

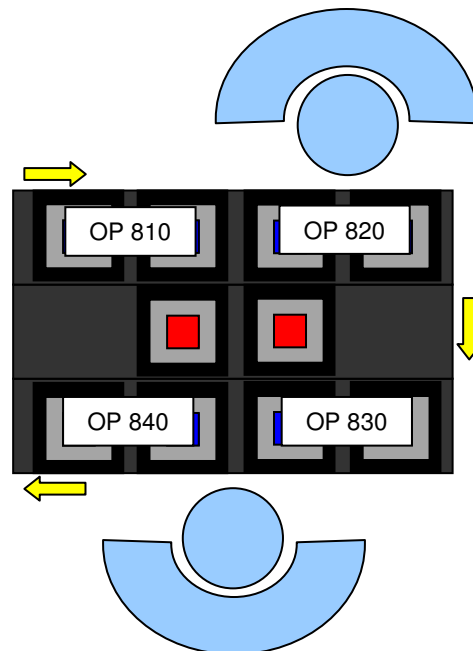
3.4.1.8. OP 800 Fases finales

Las fases finales son requisitos previos que marca el cliente antes de que le sea suministrado el producto. En este caso, el cliente requiere revisar distintos puntos críticos de la bomba, poner tapones a algunos de los componentes, insertar una etiqueta con el número de serie de la bomba y montar el alzávalvulas (tappet) a la bomba.

- Imagen del proceso:



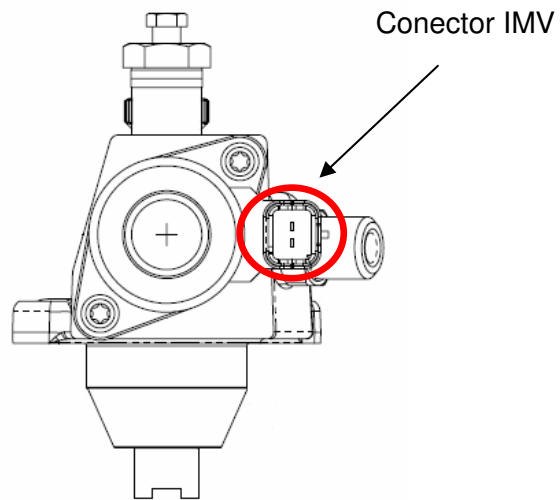
- Configuración de la estación de trabajo:



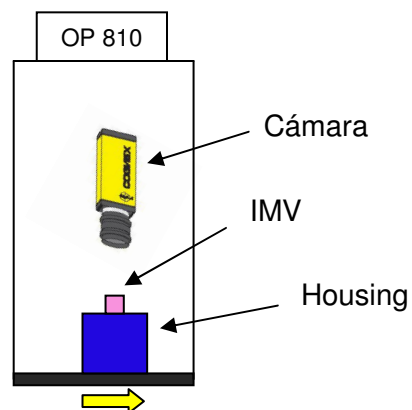
La cinta transportadora central será usada como línea de rechazo.

I. **OP 810:** Verificación conector IMV por cámara

- Imagen del proceso:



- Esquema del proceso:

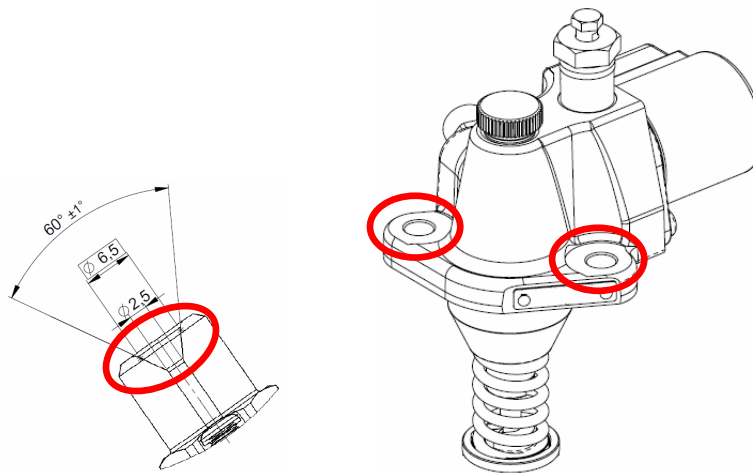


- Requisitos:
  - Cámara
  - Programar máquina para verificar la correcta posición pestañas conector IMV

## II. **OP 820:** Verificación componentes

Es necesario verificar rosca conector HP, la boquilla de salida de HP y el Ø orificios para la fijación de la bomba en el motor. Como la operación es manual, el operario solo tendrá que utilizar uno útiles diseñados para tal fin y marcar manualmente que las piezas han sido verificadas.

- Imagen del proceso:



**Rosca HP outlet connector**

- Requisitos:
  - Útiles

### III. **OP 830:** Inserción tapones y etiqueta

La inserción de tapones se realiza manualmente.

- Imagen del proceso:

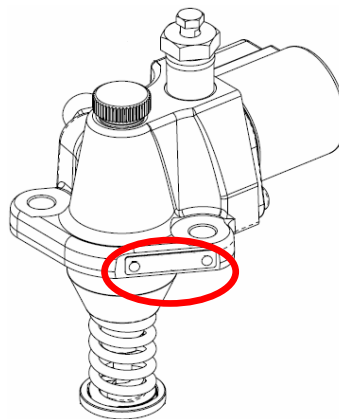


**Tapón HP outlet  
connector**



**Tapón Inlet connector**

En cuanto a la etiqueta, primero se deberá imprimir en ella y luego clavarla en la carcasa del housing.



Marca



Modelo

Nº serie



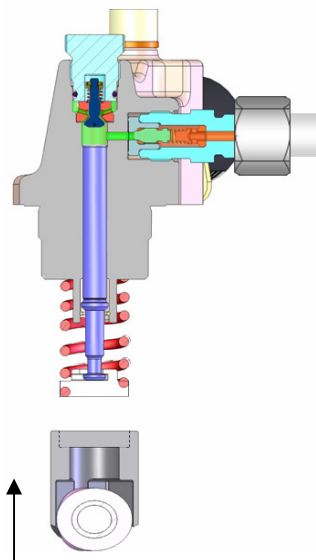
- Requisitos:
  - Marcador de etiquetas
  - Prensa para realizar clavado de etiquetas con suministro de clavos lateral



#### IV. **OP 840:** Montaje tappet

El alzávalvulas viene montado por el proveedor por lo que solo se tendrá que montar en la bomba.

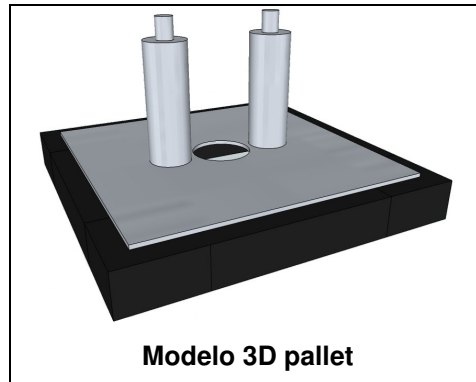
- Imagen del proceso:



#### 3.4.1.8.1. Configuración del pallet

El pallet debe asegurar:

- Localización correcta de la bomba en las distintas estaciones de trabajo
- Fijación correcta de la bomba durante las distintas operaciones
- Evitar golpes entre las bombas



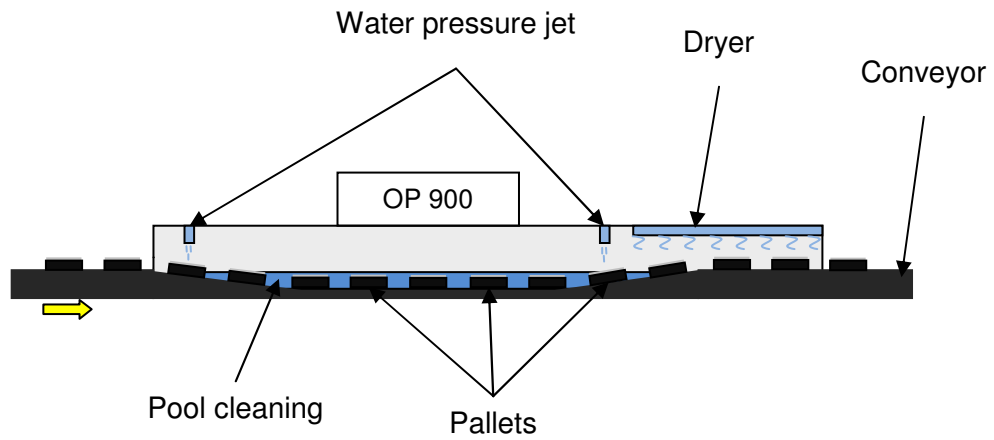
#### 3.4.1.8.2. Flujo del proceso

OP	Descripción	Manual / Automático	Comentarios	Tiempo (s)
810	Verificación conector IMV	Manual	Cámara	4
820	Verificación componentes	Manual	Requiere útiles	25
830	Inserción tapones	Manual		15
840	Inserción alzávalvulas	Manual		5

#### 3.4.1.9. OP 900 Lavado de pallets

Una vez el producto está finalizado, los pallets vuelven hacia la sala blanca para seguir siendo utilizados. Para evitar que penetre suciedad en la sala blanca se realizara un previo lavado de los pallets en una piscina.

- Esquema del proceso:



- Requisitos:
  - Piscina
  - Carcasa con conexiones para agua a presión y aire caliente
  - Cinta transportadora

#### 3.4.1.9.1. Flujo del proceso

OP	Descripción	Manual / Automático	Comentarios	Tiempo (s)
900	Chorro agua a presión	Automático		5
900	Piscina	Automático		10
900	Chorro agua a presión	Automático		5
900	Secado	Automático		15

### 3.4.2. Trazabilidad

Se entiende como trazabilidad al conjunto de procedimientos que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de montaje en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas para controlar la calidad del producto en cada fase.

Para obtener la trazabilidad de un producto, hay que ir registrando los indicios que va dejando el producto mientras se mueve por la cadena.

Para captar dicha información, se suelen usar:

- Sensores de estado como temperatura, humedad, entre otros
- Lectores de barcodes, antenas RFID, Datamatrix, entre otros

En este caso hemos escogido el sistema Datamatrix ya que permite la generación de un gran volumen de información en un formato muy reducido, con una alta fiabilidad de lectura (legible hasta con un 20%-30% dañado).



Los códigos Datamatrix son marcados de manera directa en los componentes suministrados por proveedor, asegurando así que cada uno un único código que lo identifica de todas las demás. Las técnicas que se utilizan para realizar las marcas son variadas. Las más comunes son mediante micropercusión,

tinta, láser y grabado por productos químicos. Estos métodos aseguran el marcado al menos durante toda la vida útil de la pieza.

No es necesario que este código esté impreso en todos los elementos de nuestra bomba, solo en los componentes importantes como housing, IMV y plunger. Para poder leer el Datamatrix, hay que montar un lector en la descarga de cada operación. Este lector va accionado manualmente por el operario.

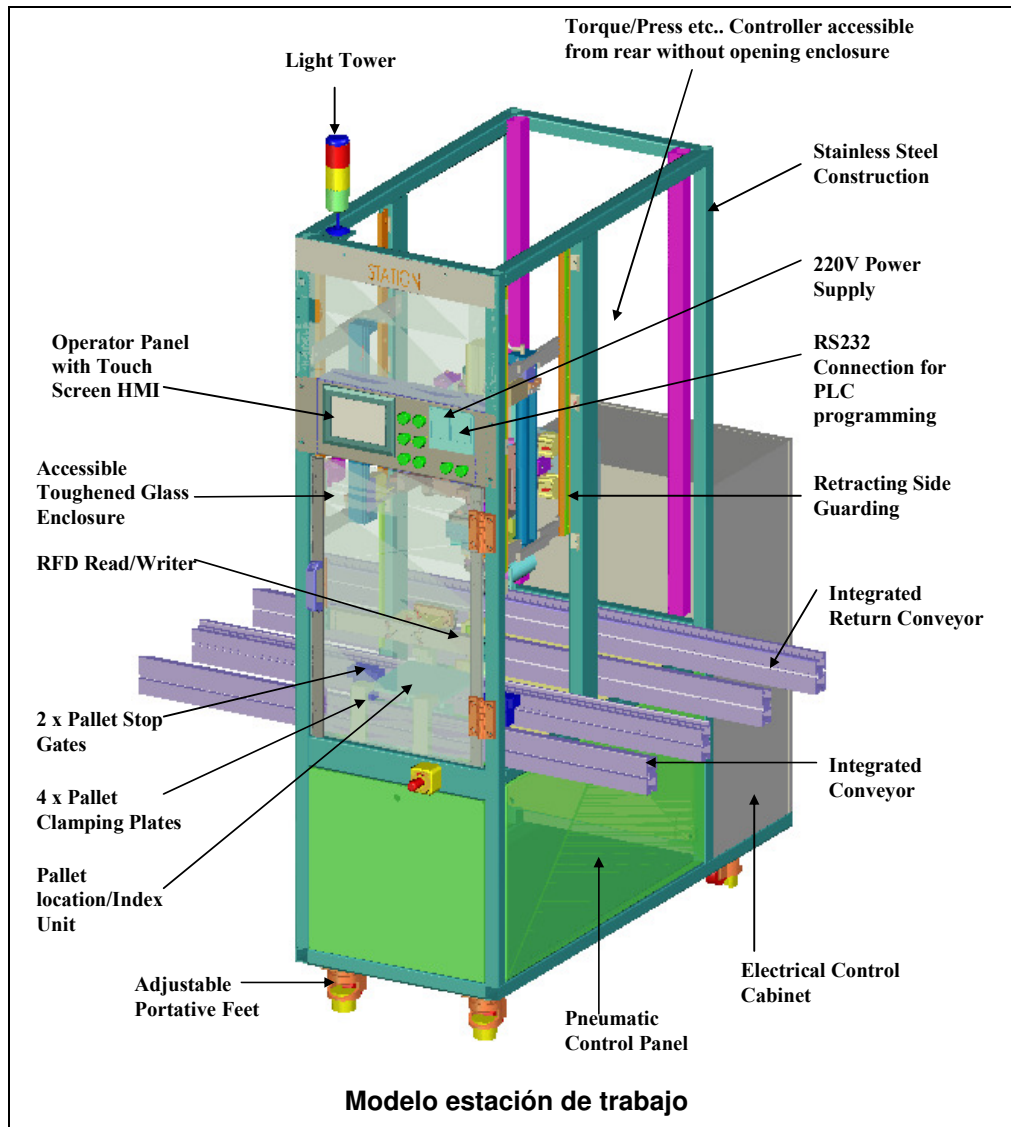


#### 3.4.3. Rechazo de componentes

Si al realizar una operación, esta no cumple con las especificaciones pertinentes, se debe implementar:

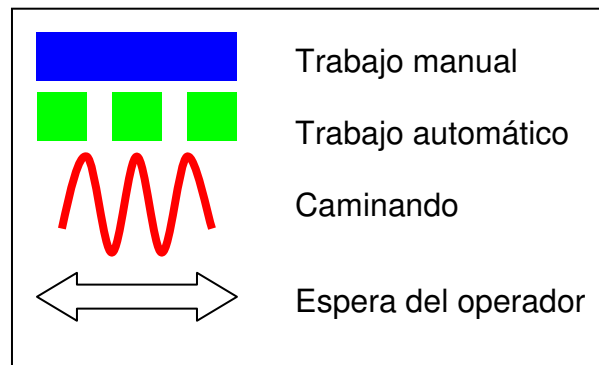
- Alertar al operador con sistema de luz
- Alertar al operador con una mensaje en la pantalla de la estación de trabajo
- Bloqueo de la máquina para evitar operaciones posteriores
- La máquina debe guardar la información sobre la pieza rechazada
- Descargar las piezas malas en bandeja de recogida o conducir hasta zona de recuperación por la cinta transportadora

- El operador debe confirmar en el panel HMI que la situación está controlada y se puede proseguir con la operación

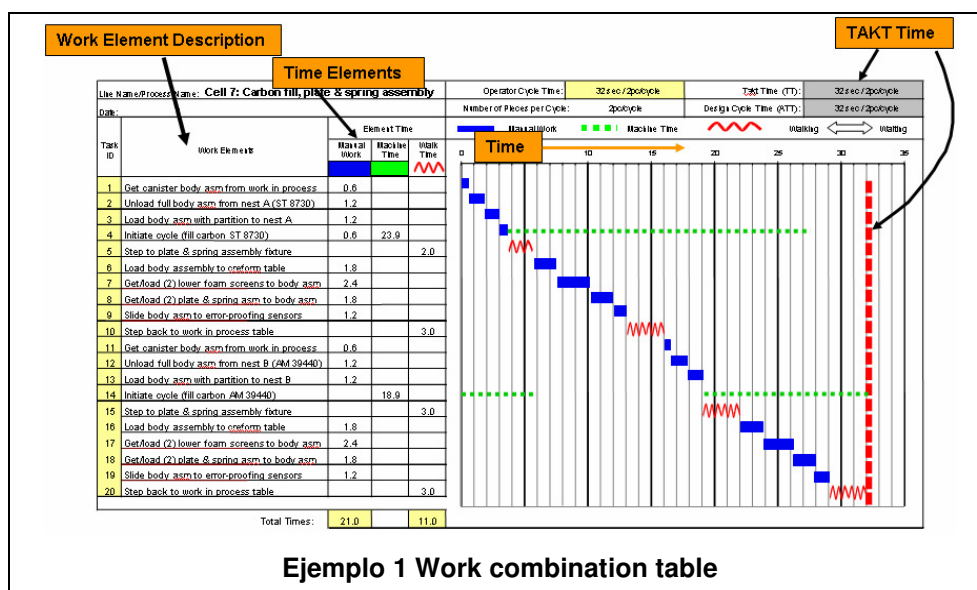


### 3.5. Work combination table

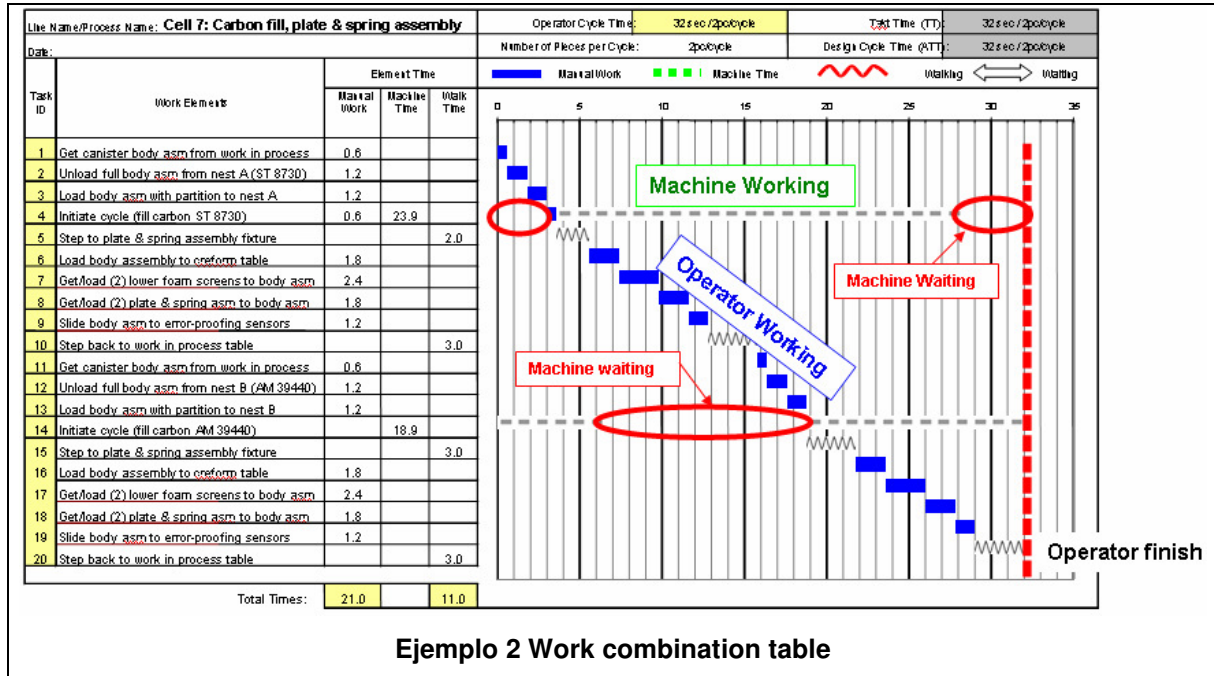
El work combination table es una herramienta que muestra la interacción entre trabajador y máquina, de modo que ambos encajen dentro del takt time. Para ello se utiliza una tabla que relaciona los distintos tiempos a tener en cuenta. Estos tiempos son el tiempo de realizar un trabajo manual por parte del operador, el tiempo que tarda la máquina en realizar un trabajo, el tiempo que tarda el trabajador caminando (si realiza varios trabajos en distintos puntos) y el tiempo de espera por parte del trabajador o por parte de la máquina. Para hacer más fácil su entendimiento, se hace uso de la simbología siguiente:



Al describir todos los tiempos para conseguir el tiempo total de trabajo y poder ver que el tiempo de trabajo está comprendido dentro del tiempo total del ciclo.



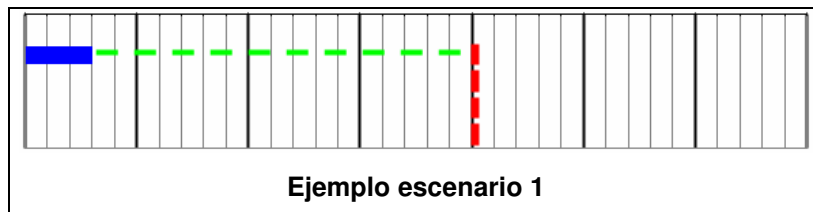
Al describir todos los tiempos, se obtiene el tiempo total de trabajo, lo que nos permite ver que el tiempo de trabajo está comprendido dentro del tiempo total del ciclo.



A modo de simplificar el entendimiento de dicha herramienta, a continuación se muestran distintos escenarios que pueden tener lugar:

- Escenario 1:

Se realiza el trabajo manual mientras la máquina espera. Acabado el trabajo manual, se inicia el ciclo de trabajo automático.



- Escenario 2:

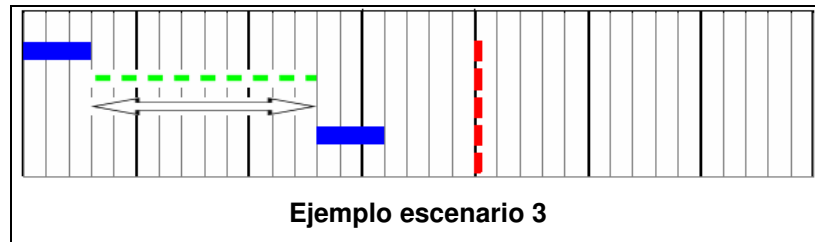
El trabajo manual que se realiza mientras la máquina funciona.





- Escenario 3:

El trabajador espera mientras la máquina trabaja.



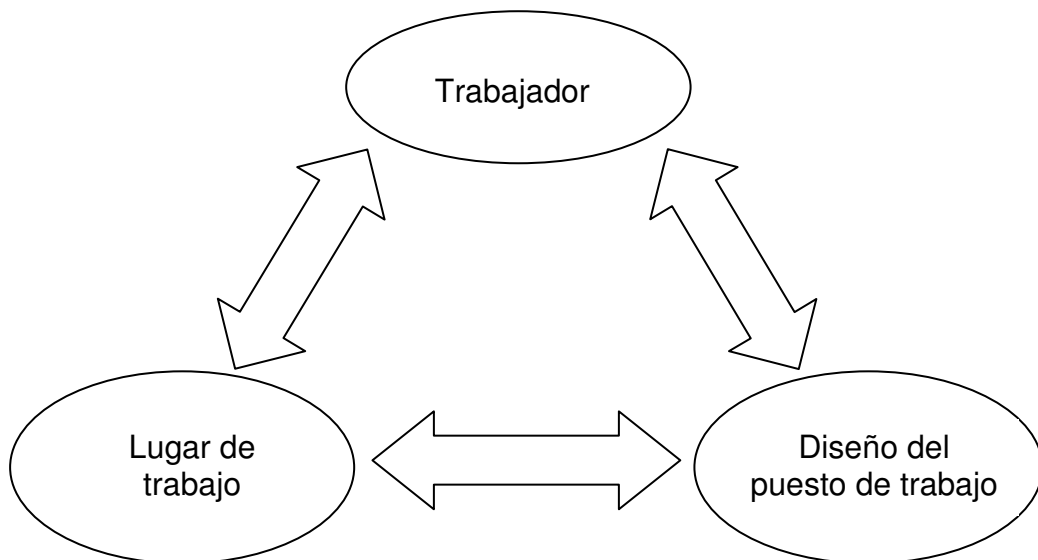
A modo de ejemplo, se han realizado el work combination table de dos operarios, el de la OP 200 y el de la OP 300.

[Ver anexo 5](#)

## **4. Ergonomía**

Actualmente, es muy común la automatización de procesos ya que acelera notablemente el ritmo de trabajo, pero, todavía hay muchas tareas que se realizan manualmente y que entrañan un gran esfuerzo físico. Este esfuerzo físico unido a una mala postura de trabajo, conlleva a que cada vez haya más trabajadores que padezcan dolores de espalda, dolores de cuello, inflamación de muñecas, brazos y piernas así como tensión ocular.

Para evitarlo, se hace uso de la ergonomía, una ciencia basada en el estudio del trabajo en relación con el entorno en el cual se lleva a cabo (el lugar de trabajo) y con quienes lo realizan (los trabajadores). Esta, se utiliza para determinar cómo diseñar o adaptar el lugar de trabajo al trabajador a fin de evitar distintos problemas de salud y de aumentar la eficiencia. Se tienen en cuenta los distintos factores que pueden influir en la comodidad y salud del trabajador, como puede ser la iluminación, el ruido, la temperatura, las vibraciones, el diseño del lugar en que se trabaja, el de las herramientas, el de las máquinas, el de los asientos y el calzado y el del puesto de trabajo, incluido el trabajo en turnos, las pausas y los horarios de comidas.



#### 4.1. Metas y beneficios de la ergonomía

La ergonomía es el cuerpo del conocimiento que respalda el diseño del producto, el proceso y el ambiente. La ergonomía básicamente tiende un puente en el espacio entre el hombre y la máquina. Es también una actividad que respalda la lean manufacturing al reducir deshechos en el ambiente de fabricación y al reducir el riesgo de lesión.

La ergonomía, utilizada como una herramienta, puede lograr las siguientes dos metas:

a) Proporcionar un lugar de trabajo libre de lesiones para los empleados al minimizar los estresores<sup>8</sup> tales como:

- Posturas incómodas
- Estiramientos excesivos
- Estrés mecánico
- Carga de músculo estático
- Vibración
- Repetitividad
- Estresores ambientales

b) Elevar el desempeño de producción al:

- Reducir movimientos que no añadan valor, movimiento del operador
- Minimizar el tiempo empleado en el set-up (puesta a punto), cambios, reparaciones y mantenimiento preventivo
- Optimizar las condiciones ambientales
- Optimizar el diseño del lugar de trabajo /organización

Los beneficios, como resultado de cumplir con las metas de ergonomía, son:

- Reducción de lesiones/enfermedades y sus costos asociados
- Reducción del costo asociado con el reajuste del equipo

---

<sup>8</sup> Situaciones desencadenantes del estrés.

- Aumento en la disponibilidad de maquinaria
- Mejoramiento en la eficiencia del operador
- Mejoramiento en la calidad
- Aumento en la moral del empleado

#### 4.2. Ambiente en el lugar de trabajo

##### 4.2.1. Luz

Numerosos estudios han examinado la relación entre la cantidad de iluminación y la productividad. La mayoría han mostrado aumento de la productividad en cuanto aumenta la iluminación pero hay que tener en cuenta que la cantidad del aumento depende de la actividad.

##### I. Niveles de luz recomendados:

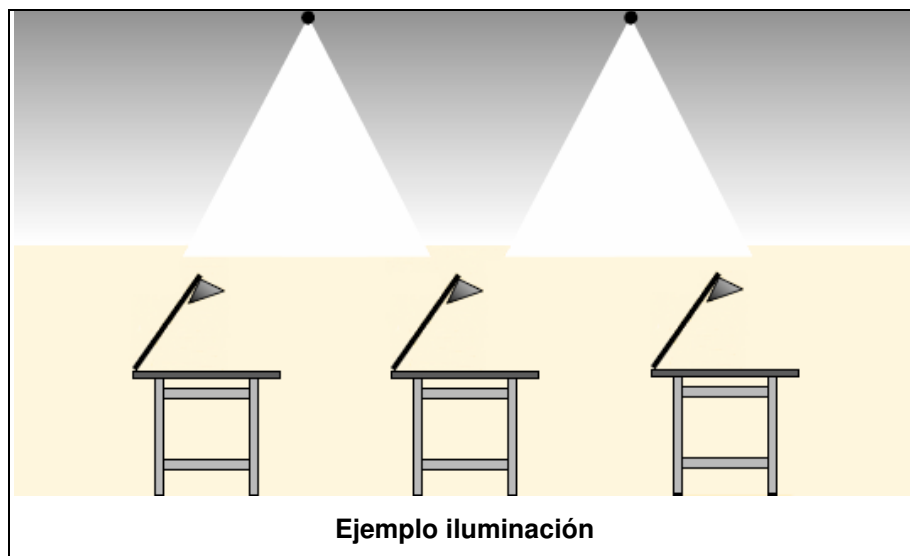
En la siguiente tabla se muestran los niveles recomendados del nivel de iluminación según las actividades:

<b>ZONAS, ACTIVIDADES, TAREAS</b>	<b>Rango de iluminación</b>	
	<b>ISO 8995/89 LUX</b>	<b>R.D. 486/97 (VALORES MÍNIMOS)</b>
Áreas de trabajo o de circulación exterior	20-30-50	25
Áreas de circulación: Orientación o estancias cortas	50-100-150	50
Áreas no utilizadas para trabajar	100-150-200	100
Tareas con exigencias visuales escasas	200-300-500	100
Tareas con exigencias visuales medias	300-500-700	200
Tareas con exigencias visuales Tareas con exigencias visuales difíciles Tareas con exigencias visuales particulares	500-750-1000 750-1000-1500 1000-1500-2000	500
Tareas que requieren una precisión visual grande	>2000	1000

Perspectiva sobre la iluminación:

- 9 fc (100 lux) → En un día nublado
- 93 fc (1000 lux) → En un día soleado
- 929 fc (10,000 lux) → Papel blanco en un día soleado

Si el aumento de iluminación en el área de trabajo asciende por encima de 93 fc (1000 lux) es preferible iluminar la actividad de forma local.



## II. Resplandor:

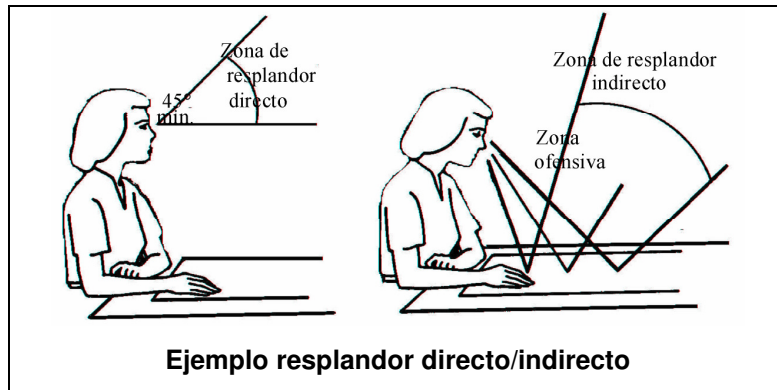
La luz inadecuada o la colocación inapropiada de las luces puede ser una fuente de resplandor que puede dificultar la visión. Es por ello que se clasifica el resplandor en dos categorías diferentes:

### Resplandor directo:

Esto es causado cuando una fuente de luz en el campo visual es mucho más brillante que los materiales de la actividad en el lugar de trabajo.

### Resplandor indirecto:

Esto es causado por luz reflejada desde la superficie de trabajo



A continuación, se muestran distintos métodos para controlar el resplandor directo e indirecto en el lugar de trabajo:

<b>Resplandor directo</b>	<b>Resplandor indirecto</b>
Posicionar las luces perpendiculares a la línea de visión del operador.	Evitar colocar luces en la zona ofensiva de resplandor indirecto.
Hacer uso de varias luces de baja intensidad en vez de una muy brillante.	Usar luces con lentes difusoras o polarizadas.
Posicionar a los trabajadores de manera que el nivel de luz más alto venga de los lados, no de enfrente y tampoco de atrás.	Hacer uso de superficies que difusen la luz, tal como pintura opaca, papel sin-brillo y acabados texturizados.
Hacer uso de luz difusa para proporcionar el mejor ambiente de trabajo. Esto puede incluir el uso de luces con lentes de persianas o prismáticos.	Cambiar la orientación del lugar de trabajo, de la actividad, el ángulo de vista o la dirección de vista hasta lograr una máxima visibilidad.
Hacer uso de muchas lámparas de menor intensidad en vez de unas cuantas de alta-intensidad.	Evitar fluctuar las fuentes de luz.

#### 4.2.2. Ruido

Es importante considerar el ruido en el diseño de un equipo nuevo o reconstruido. Algunos estudios sugieren que el ruido puede contribuir a la variabilidad de la calidad. También, actividades que directamente involucran la transmisión verbal de información pueden ser degradadas si el ruido afecta la comunicación. Las características del ruido que contribuyen a la degradación del desempeño incluyen:

- Variabilidad en el nivel o el contenido
- Intermitencia
- Ruidos repetidos de alto nivel
- Frecuencias arriba de 2000 Hz aproximadamente
- Cualquier combinación de las anteriores

#### 4.2.3. Ayudas visuales, etiquetas y señales

##### I. Legibilidad

Es aconsejable facilitar la legibilidad de los mensajes en las etiquetas, señales y otras formas de comunicación impresas. Es por ello, que se recomienda utilizar un tipo de letra sencillo haciendo uso de letras mayúsculas y minúsculas para una lectura más fácil y rápida.



El texto debe estar del tamaño acorde a la máxima distancia desde que la etiqueta/señal debe ser leída. Se puede utilizar la altura, el ancho y las fórmulas de trazo mostradas a continuación para realizar los cálculos necesarios:

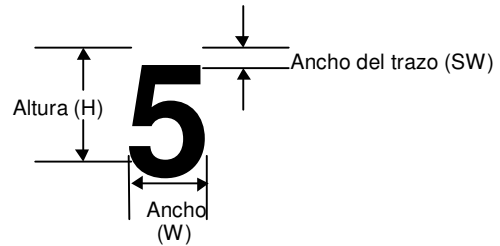
$$\text{Altura (mm)} = \frac{\text{distancia de vista}}{200}$$

$$\text{Ancho de trazado} = \frac{1}{6} \cdot H$$

$$\text{Ancho} = \frac{2}{3} \cdot H$$

$$\text{Distancia entre letras} = \frac{1}{5} \cdot H$$

$$\text{Distancia entre palabras i figuras} = \frac{2}{3} \cdot H$$



A continuación se muestra el tamaño de letra para las distancias de vista más comunes asumiendo una iluminación de (>10 fc o 108 lx):

Distancia de vista	Altura mínima de la etiqueta
0.7 m	3.5 mm
0.9 m	4.5 mm
1.8 m	9 mm
6.1 m	30.5 mm

## II. Combinaciones de color

Se recomienda evitar el uso de impresiones a color reduce la legibilidad y por tanto incrementa el tiempo de reacción por parte del operador. En caso de utilizar una combinación de colores, esta debe ser puesta a prueba en el ambiente para poder evaluar su legibilidad.



A continuación se muestra una tabla que muestra la combinación de colores y su legibilidad:

<b>Tabla de combinaciones de color</b>	
<b>Legibilidad</b>	<b>Combinación de color</b>
Muy buena	Letras negras en fondo blanco Negro sobre amarillo
Buena	Amarillo sobre negro Blanco sobre negro Azul oscuro sobre blanco Verde sobre blanco
Regular	Rojo sobre blanco Rojo sobre amarillo
Poca	Verde sobre rojo Rojo sobre verde Naranja sobre negro Naranja sobre blanco Rosa sobre morado
Muy poca	Negro sobre azul o amarillo sobre blanco

### III. Calidad en legibilidad

La calidad en legibilidad es la facilidad de leer palabras y números, asumiendo que las letras individuales son legibles. A continuación se muestran diferentes métodos para aumentar la calidad de legibilidad de etiquetas y señales:

- Se debe hacer uso de letras mayúsculas para encabezados o mensajes de pocas palabras, solamente se usarán letras minúsculas en mensajes más largos. Se hará uso de itálicas para enfatizar y el subrayado para agregar énfasis, en palabras específicas o frases cortas.

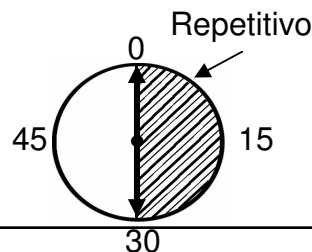
- Evitar abreviaciones. En caso de que sea necesario puede hacerse uso de abreviaciones estándar.
- Hacer uso de bordes para mejorar la legibilidad de un bloque de números y palabras.

### 4.3. Interfase del operador

#### 4.3.1. Movimiento repetitivo

Una actividad es considerada altamente repetitiva cuando:

- a) El tiempo del ciclo del operador es menor de 30 segundos



Cuando el espacio es limitado y el tamaño de la letra llena la mayoría del espacio dentro del borde.

**2093**

Preferible que

**2093**

Cuando el espacio no es crítico, un borde más grande lo rodea, contribuye a una mejor calidad de lectura.

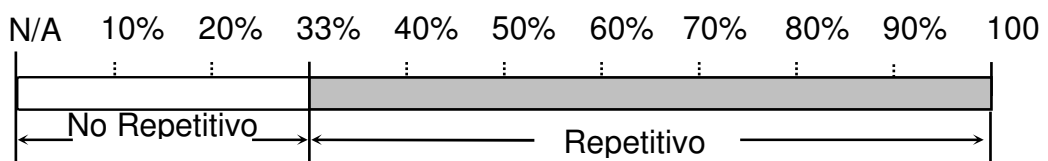
**5487**

Preferible que

**5487**

- b) El tiempo del ciclo del operador es mayor de 30 segundos y el movimiento es repetido o mantenido por más de  $\frac{1}{3}$  del ciclo

Porcentaje de tiempo ciclo



#### 4.3.2. Repetitividad, fuerza y lesión

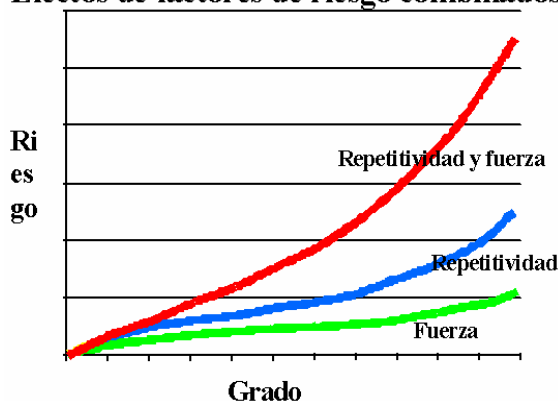
Hay ciertas circunstancias donde el movimiento repetitivo no puede ser cambiado o controlado, es por ello, que los factores de riesgo ergonómicos deben ser minimizados.

Estos factores de riesgo incluyen:

- Posturas incómodas
- Estiramientos forzados
- Estrés mecánico
- Carga de músculo estático

A continuación se muestra una gráfica que ilustra el riesgo del Síndrome del Tunnel Carpal (CTS) y tendinitis como una función de fuerza y repetitividad. Es importante destacar que la postura también interactúa con la fuerza respecto al riesgo de lesión.

#### **Efectos de factores de riesgo combinados**



La repetitividad representa un mayor riesgo de lesión que la fuerza y el conjunto de estas, incrementa el riesgo de lesión.

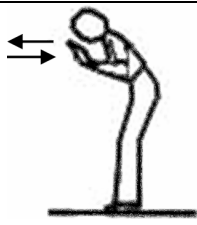

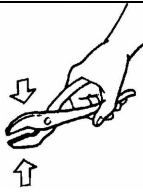
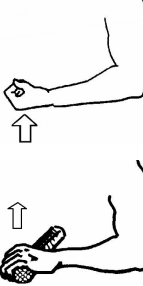
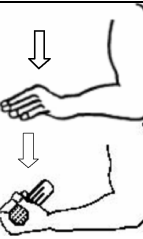

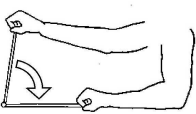
#### 4.3.3. Fuerzas

Es difícil estandarizar la ejecución de fuerza ya que los requerimientos de postura y frecuencia difieren en cada lugar de trabajo. No debe deducirse que las fuerzas mayores a las mostradas expondrán a la gente a algún alto riesgo de lesión. Sin embargo, los productos o procesos nuevos, en donde la fuerza realizada es mayor a las fuerzas enlistadas, deberán ser ya sea creados o rediseñados con un método efectivo y eficiente de aplicación de fuerza o idealmente, se deberá minimizar la fuerza requerida.


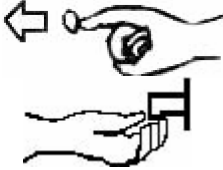


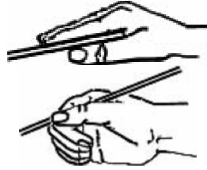
A continuación, se muestra un cuadro con las distintas posturas y su correspondiente aplicación de fuerza según la tarea a llevar a cabo:

<b>Una mano con el cuerpo</b>	<b>Descripción</b>	<b>No-repetitiva</b>	<b>Repetitiva</b>
	Una mano empuja hacia arriba Músculos del brazo principalmente involucrados Altura del codo	57 N	17 N
	Altura del hombro	40 N	13 N
	Una mano lateral – Brazo derecho/izquierdo completamente extendido	66 N	22 N
<b>Dos manos</b>			
	Dos manos empujan hacia abajo verticalmente Arriba de la altura de la cabeza	200 N	66 N
	Al nivel del hombro	310 N	102 N
	Dos manos empujan hacia arriba verticalmente Altura del codo	146 N	48 N
	Altura del hombro	75 N	26 N
	Dos manos empujan hacia abajo verticalmente Altura del codo	284 N	93 N
	Dos manos empujan horizontal Músculos del brazo principalmente involucrados Brazos completamente extendidos	106N	35 N

Diseño de la secuencia de montaje de una bomba de alta presión

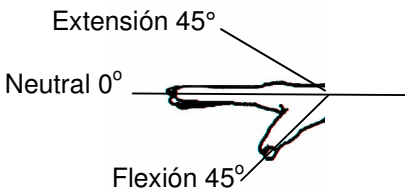
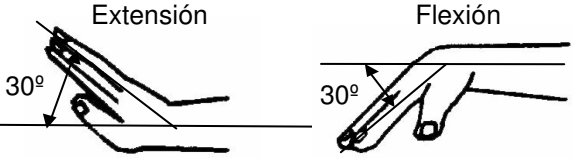
	Asumir el cuerpo completo involucrado		222 N	75 N
	Dos manos empujan hacia arriba Altura del hombro Asumir el cuerpo completo involucrado		200 N	66 N
Una mano	Descripción	No-repetitiva	Repetitiva muñeca neutral	Repetitiva muñeca desviada
	Apretar con la palma	26 N	18 N	8 N
	Una mano empuja hacia arriba (Palma hacia arriba o hacia abajo)	79 N	26 N	13 N
	Una mano empuja hacia abajo (Palma hacia arriba o hacia abajo)	79 N	26 N	13 N
	Una mano empuja/estira horizontal Músculos del brazo principalmente involucrados y altura del codo	52 N	18 N	13 N
	Una mano con brazo, movimiento de presión	132 N	44 N	22N

### Diseño de la secuencia de montaje de una bomba de alta presión

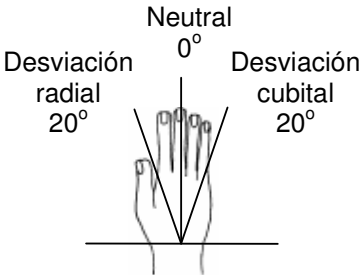
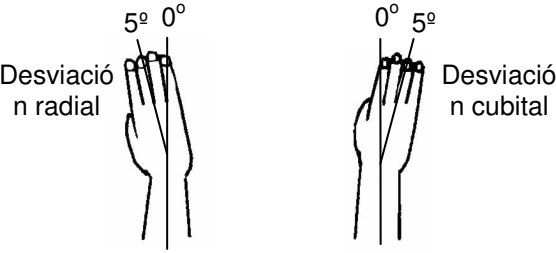
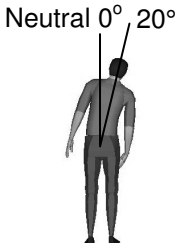
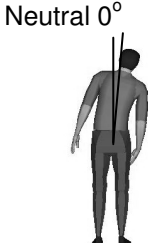
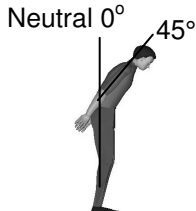
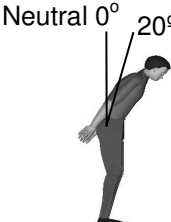
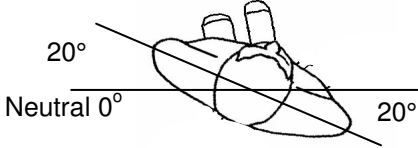
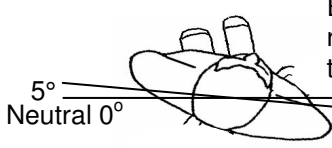
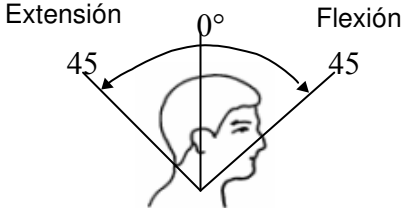
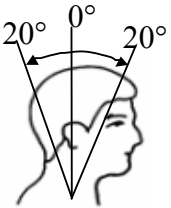
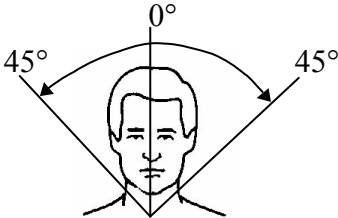
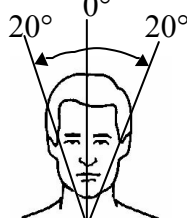
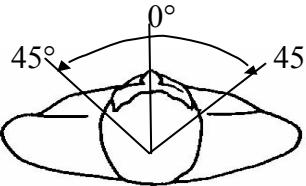
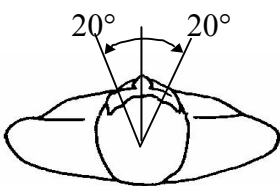
	Rotación de antebrazo	79 N	26 N	13 N
	Acción de empujar/estira con el dedo	44 N	8 N	4 N
	Agarre de llave	44 N	8 N	4 N
	Agarre de pellizco	44 N	8 N	4 N
	Pellizco lateral	44 N	8 N	4 N

#### 4.3.3. Posturas

El lugar de trabajo y el método de trabajo del operador deberán ser creados para que todos los materiales, pantallas de visualización y controles estén posicionados para controlar las posiciones no naturales de la cabeza y las desviaciones de hombros, cuerpo, cabeza y muñeca.

Mano y muñeca	
Desviación no-repetitiva	Desviación repetitiva
 <p>Extensión 45° Neutral 0° Flexión 45°</p>	 <p>Extensión 30°      Flexión 30° Evite la desviación de más de 30°</p>

## Diseño de la secuencia de montaje de una bomba de alta presión

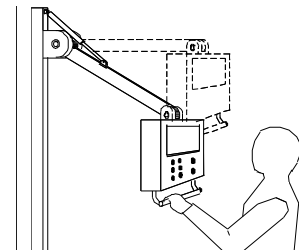
 <p>Neutral 0° Desviación radial 20° Desviación cubital 20°</p>	 <p>Desviación radial 5° 0° Desviación cubital 0° 5°</p> <p>Evite la desviación de más de 5°</p>
<b>Espalda</b>	
 <p>Neutral 0° 20°</p>	 <p>Neutral 0° 5°</p> <p>Evite inclinarse hacia los lados más de 5°</p>
 <p>Neutral 0° 45°</p>	 <p>Neutral 0° 20°</p> <p>Evite inclinarse hacia enfrente más de 20°</p>
 <p>20° Neutral 0° 20°</p>	 <p>5° Neutral 0° 5°</p> <p>Evite la rotación del tronco de más</p>
<b>Cabeza</b>	
<p><b>Desviación No-repetitiva</b></p>	<p><b>Desviación repetitiva</b></p>
 <p>Extensión 0° Flexión 45° 45°</p>	 <p>20° 0° 20°</p> <p>Evite inclinar el cuello más de 20° (Hacia delante o atrás)</p>
 <p>45° 0° 45°</p>	 <p>20° 0° 20°</p> <p>Evite inclinar lateralmente más de 20°</p>
 <p>45° 0° 45°</p>	 <p>20° 0° 20°</p> <p>Evite la rotación de cuello más de 20°</p>

Hombro	
	<p>Evite la aducción de más de 10° y/o la abducción de 30°</p>
	<p>Evite la flexión del hombro de más de 30° y/o la extensión de 10°</p>
	<p>Evite la hipertensión del hombro y/o mayor de 105° de la rotación medial</p>

#### 4.4. Diseño del lugar de trabajo

Para el diseño de una estación de trabajo es importante tener en cuenta los siguientes puntos:

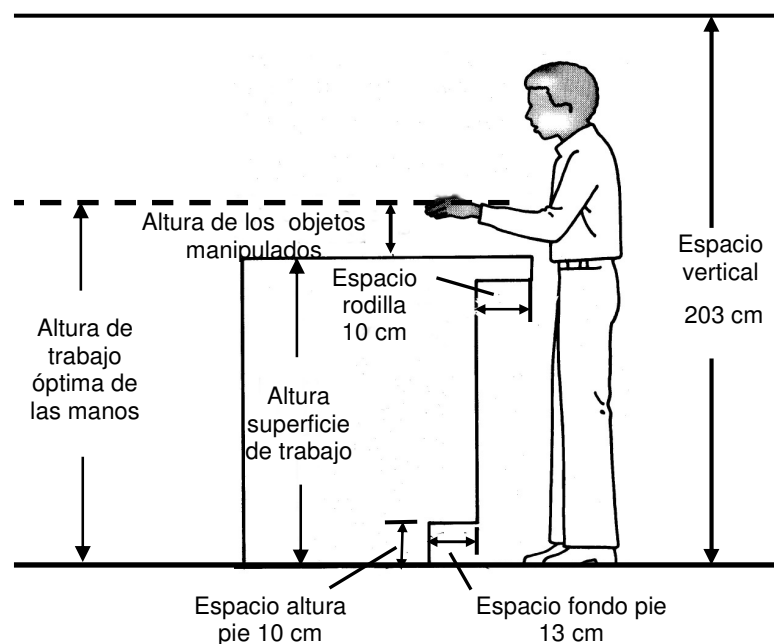
- Las estaciones de trabajo deben ser ajustables pudiendo ser usadas por operadores de cualquier estatura. En caso de no ser ajustable, se deberá establecer la altura de trabajo en donde los estresores ergonómicos sean mínimos.
- Las pantallas de visualización/control deben ser ajustables pudiendo ser movidas en varias direcciones: vertical, horizontal, inclinadas. Este es un factor de desempeño que ayuda a reducir el tiempo de set-up, mantenimiento preventivo y diagnóstico/repación.
- El flujo de material (zonas de carga y descarga de la estación), deberá ser incorporado en el diseño del equipo nuevo.





- El diseño del equipo deberá facilitar y disminuir el tiempo en la realización de actividades de mantenimiento preventivo incluyendo:
  - I. Paneles o cubiertas de seguridad fácilmente removibles
  - II. Espacio para manos y herramientas
  - III. Vista directa (sin obstrucciones) hacia los componentes
- Para optimizar la respuesta del operador, se deberán usar controles de audio, pantallas de visualización indicando situaciones tales como el paro de maquinaria, operar fuera de parámetros entre otros.
- El diseño de la máquina deberá ser tal que el ruido del equipo sea del menor nivel posible.
- Un diseño de equipo que requiera por parte de los operadores una vuelta de 180 grados en una base repetitiva, debe ser evitado, se deberá considerar otras opciones que proporcionen un patrón más adecuado.
- El diseño del equipo deberá evitar que el operador tenga que doblarse, inclinarse o de alguna manera alterar su postura para operar en el equipo.

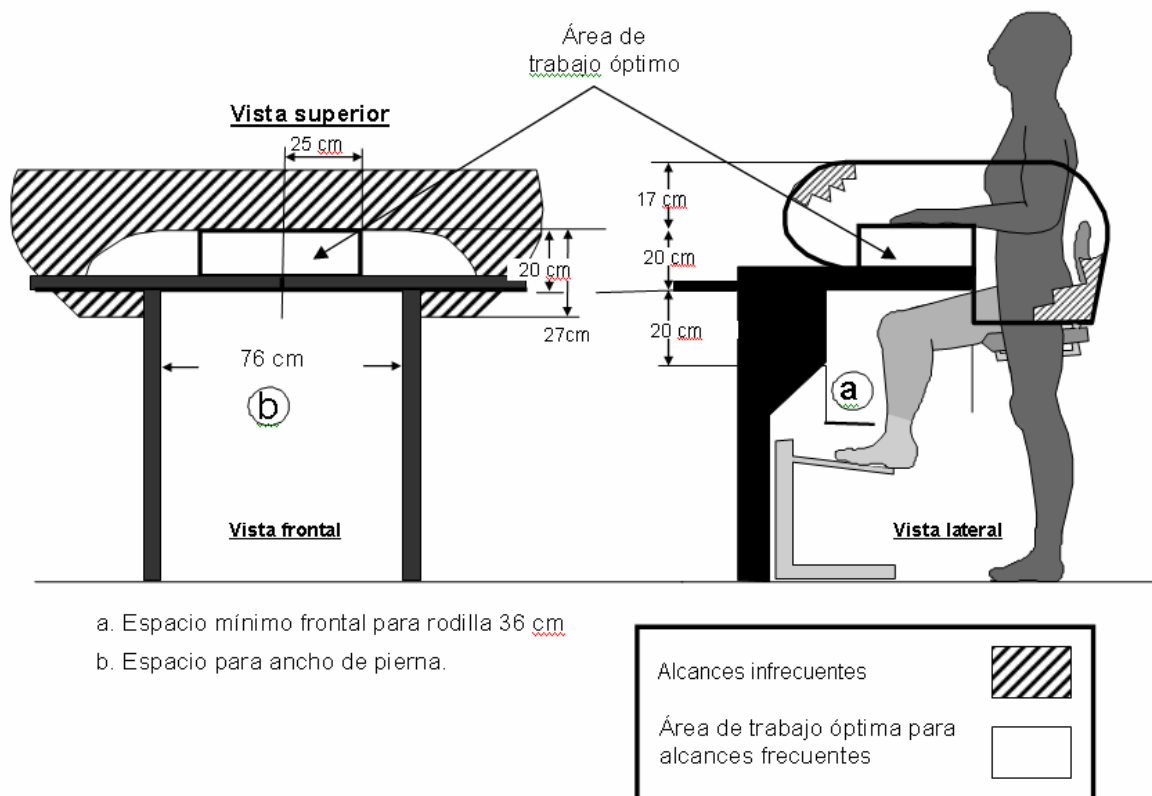
#### 4.4.1. Estación de trabajo de pie

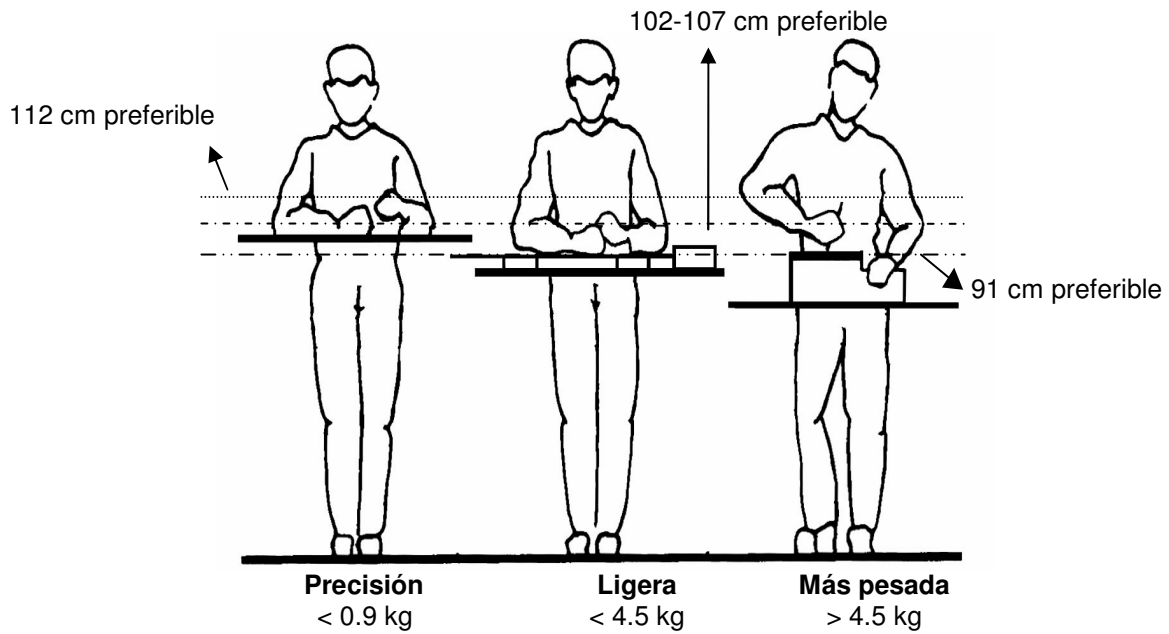


Los elementos claves que recordar al diseñar una estación de trabajo para estar de pie son:

- Espacio libre para los pies y rodillas.
- Carga de músculo estático. Si la estación de trabajo de un operador está diseñada para estar solo de pie, debe haber manera de caminar regularmente como parte del ciclo de trabajo y así aligerar la carga de músculo estático.
- Altura adecuada de las manos. Si no es posible fijar la altura, los artículos de diferentes alturas deben ser trabajados en una plataforma de altura ajustable o bien, la altura de la superficie de trabajo estará basada en los artículos frecuentemente usados.

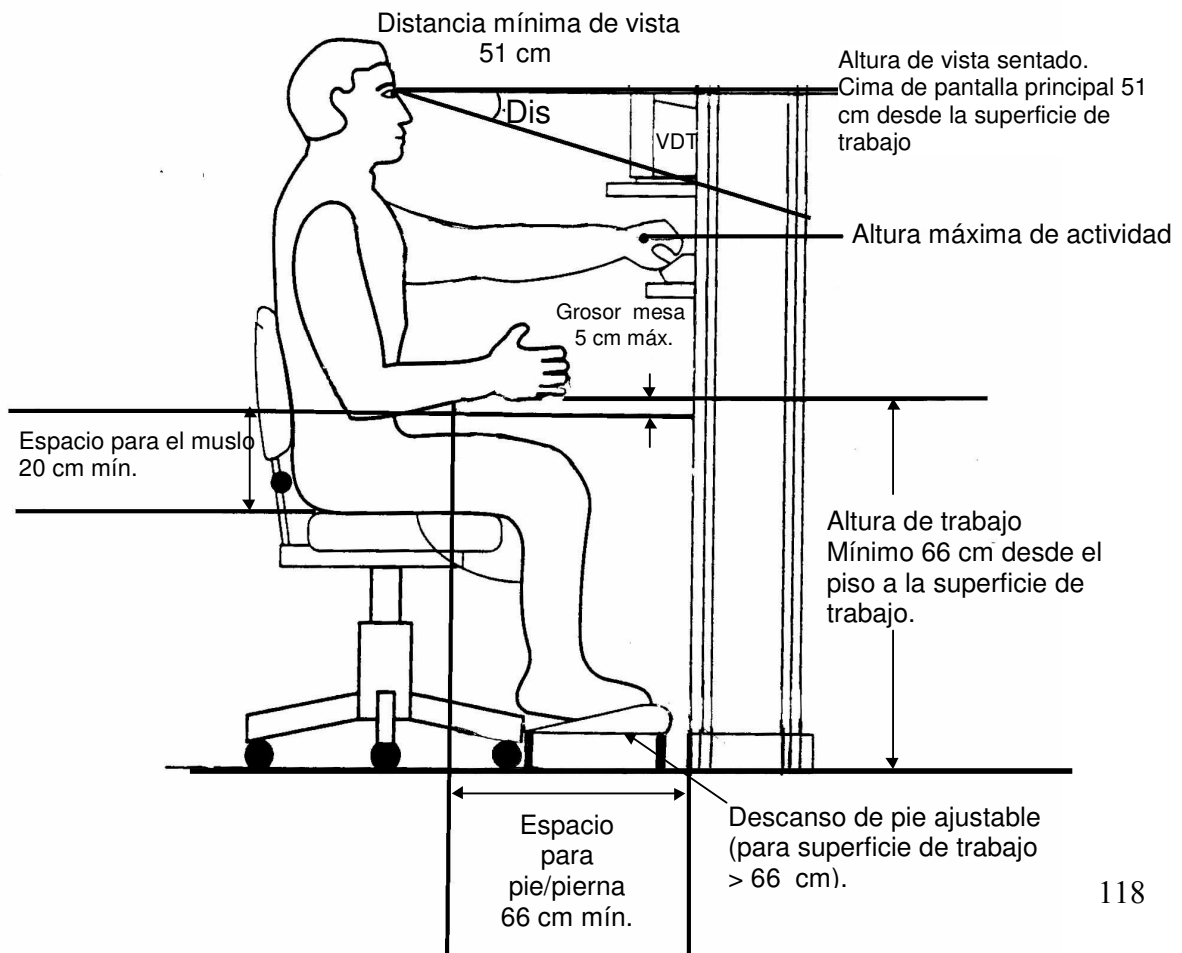
#### 4.4.2. Estación de trabajo pie-sentado





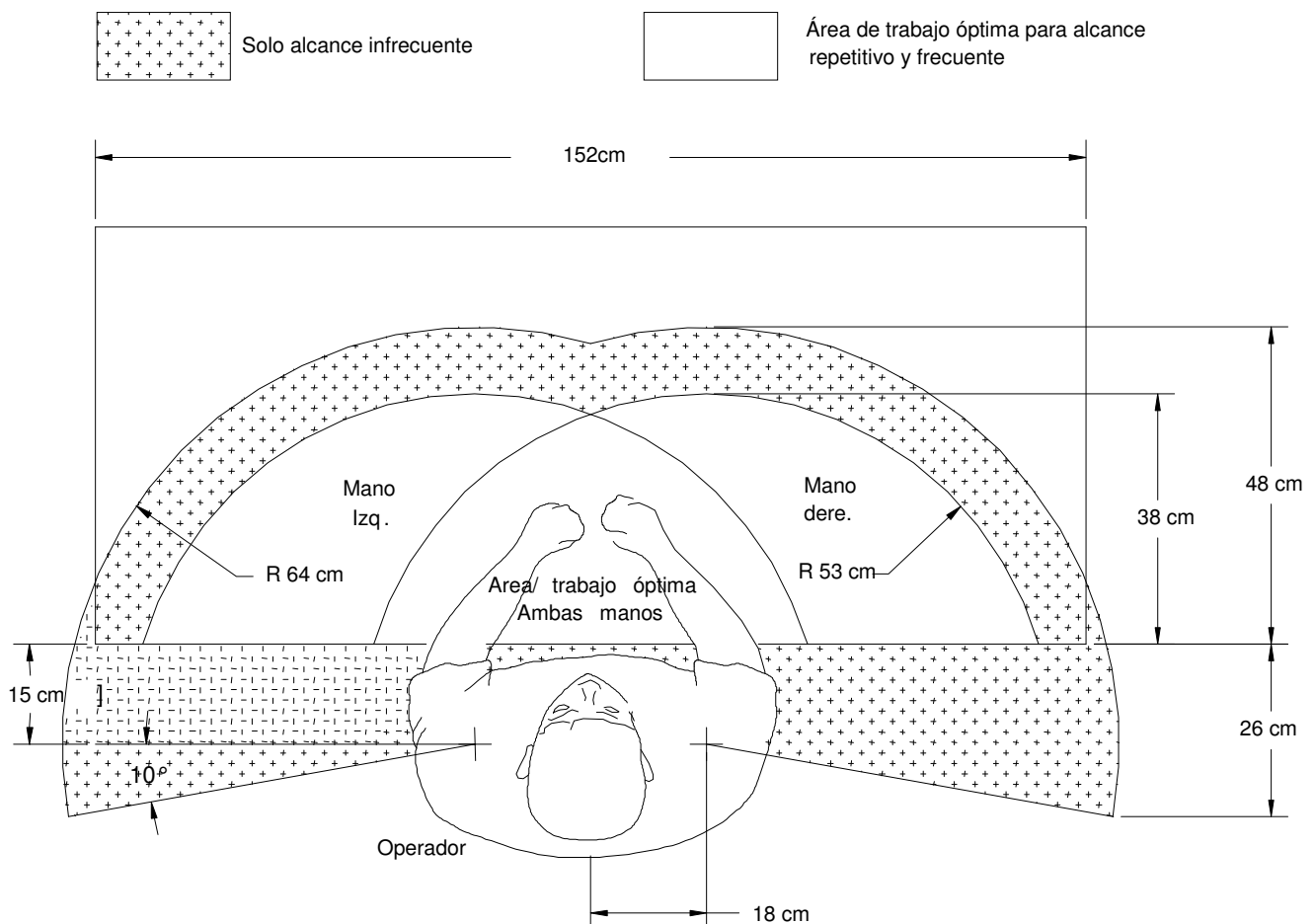
- Para actividades que consistan principalmente en trabajo que requiera precisión, una estación de trabajo sentado o pie/sentado es preferible.

#### 4.4.3. Estación de trabajo sentado

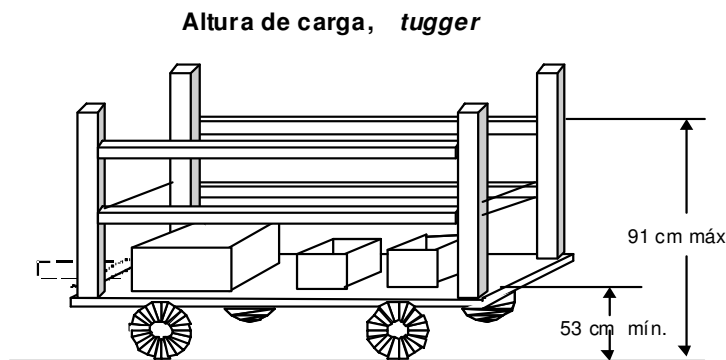


- La flexibilidad está comprometida al diseñar una estación de trabajo sentado.
- El asiento debe estar equipado para ajustar la altura y ser usado en actividades específicas.
- Altura de vista sentado. Si no es posible ajustar, se debe diseñar para el 50 percentil de mujer, midiendo desde la superficie de trabajo hasta el piso.
- Altura de trabajo. Para diseñar la altura de trabajo, se debe agregar la distancia de la altura de codo sentado del 95 percentil de hombre, midiendo desde el asiento de la silla hasta el codo, más, la pierna inferior del 95 percentil de hombre, midiendo desde el piso hasta el asiento de la silla.

#### 4.4.4. Envolvente en estación de trabajo de pie o pie-sentado



- Cualquier objeto que sea tomado frecuentemente debe de estar ubicado dentro de 15-36 cm del frente de la superficie de trabajo.
- Los objetos grandes o pesados necesitan estar ubicados cerca del frente del lugar de trabajo.
- Es posible que un operador ocasionalmente alcance algo fuera del área de trabajo, pero dicho alcance no debe ser hecho con ocurrencia regular como parte de un ciclo de trabajo breve.
- Se deben diseñar las ubicaciones del material para que queden dentro del alcance adecuado de los operadores.
- Los operadores no deben tratar de alcanzar algo detrás de su cuerpo repetidamente y a no más de 10° infrecuentemente.

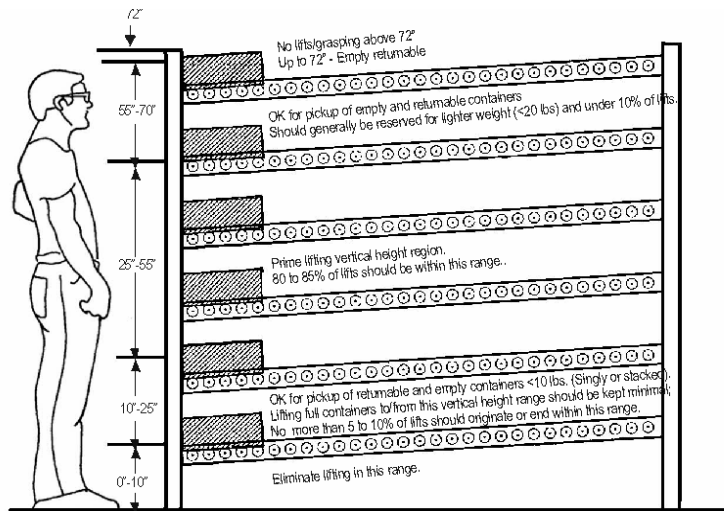


#### 4.4.5. Supermercados

Este apartado esta dirigido a las actividades de manejo de material para los trabajadores encargados de los *supermarkets*.

Los *Supermarkets* son áreas de reunión del material usado como parte del sistema de material en donde pequeños lotes de material son entregados en las líneas de ensamble por medio de un tugger (carretilla con motor) y manejo manual.

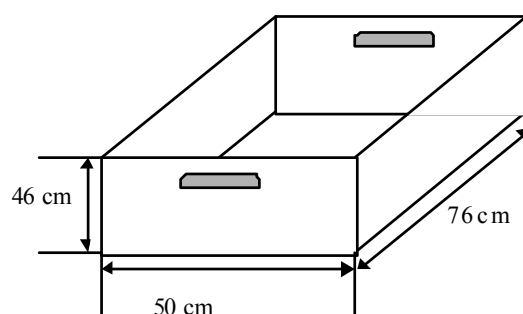
#### 4.4.6. Altura dispensadores (FIFO'S)



- Se debe proporcionar el espacio adecuado alrededor de los artículos en las repisas para permitir el espacio suficiente de agarre y el espacio de las manos y dedos (>7.5 cm).
- La inclinación de la repisa debe estar en un rango de 3.5 a 5 grados.
- El número de los elementos rodantes en la repisa deben ser suficiente para contener el tamaño y el peso de cartones y contenedores colocados sobre ellos.
- Las barras rodantes o ruedas al final de la repisa pueden ayudar a reducir el esfuerzo al extraer los contenedores.

En cuanto al tamaño y peso del contenedor:

- Los límites de tamaño máximo del contenedor son de 76 x 50 x 46 cm (largo x ancho x alto).



Los contenedores que excedan las dimensiones mencionadas podrán ser usados cuando:

- Los pesos sean relativamente ligeros <13,6 kg.
- Sean elevados/bajados de alturas verticales <122 cm.
- Si dos de las tres dimensiones están dentro de los límites de tamaño recomendados.
- El contenedor tenga agarraderas bien diseñadas y ubicadas.

## 5. Estudio económico

Una vez enviada la especificación al proveedor, este realiza una oferta desglosando los costes en las distintas operaciones que hay que llevar a cabo. Cada una de estas operaciones será una sola máquina que se unirá con las otras mediante cintas transportadoras. Para poder realizar el estudio económico de este proyecto, se ha hecho un balance entre dos ofertas, con máquinas muy similares, facilitadas por distintos proveedores. Es por ello, que el coste total de cada operación es aproximado.

Operación	Descripción	Coste
100	Sub-montaje HP Outlet connector	180.000 €
200	Pre-montaje housing	105.000 €
300	Sub-montaje housing	200.000 €
400	Lavadora	230.000 €
500	Montaje IMV	50.000 €
600	Matching	317.000 €
700	Test funcional	300.000 €
800	Fases finales	40.000 €
900	Lavado pallets	60.000 €
	Desmantelamiento/embalaje/transporte	11.000 €
	Ajuste maquinaria en lugar/puesta en marcha/formación	66.000 €
	Varios/archivos	12.000 €
<b>TOTAL INVERSIÓN INICIAL</b>		<b>1.571.000 €</b>

Obtenido el coste de las distintas máquinas y equipos, así como, los costes de transporte, instalación en planta, etc., se deberá tener en cuenta el coste de mantenimiento y los sueldos de los trabajadores. Sabiendo que en la India el sueldo mínimo de un trabajador es de 44 €/mes y se necesitan ocho trabajadores fijos en la línea (será necesario un noveno trabajador si hay rechazo de piezas malas en la línea), tenemos que:

$$\text{Coste anual} = 8 \text{ trabajadores} \times 44\text{€/mes} \times 12 \text{ meses} = \mathbf{4.224 \text{ €/año}}$$



En cuanto al coste de mantenimiento, depende del número de revisiones anuales y el coste de cada una de ellas. Este dato lo marca el proveedor una vez la máquina ha sido fabricada. Es por ello, que no se tiene en cuenta.

## **6. Conclusiones**

Para la implementación de una línea de montaje son muchos los factores que hay que tener en cuenta. Por un lado, valorar el producto y ver cual es la secuencia de montaje más lógica, teniendo en cuenta que la gravedad actúa a nuestro favor a la hora de montar los distintos elementos. También es importante pensar en el tamaño de estos elementos y la dificultad que puede suponer sub-montarlos en la misma planta, factor que puede incrementar el coste de montaje del producto. Además, se deben evitar aquellas acciones que no añaden valor al producto, como es el caso de rotar muchas veces la pieza al montar sus componentes. Por otro lado, el diseño de fijaciones y pallets debe ser adecuado, ofreciendo un apoyo correcto a la bomba, siempre considerando la dirección en la cual se van a aplicar las fuerzas indistintamente de si se realiza un ensamblado, un prensado o un roscado.

En cuanto a la vertiente económica, podemos decir que es la base del proyecto, ya que un coste desorbitado dificultará su implantación. Es por ello que hay que realizar procesos simples con un grado de automatización adecuado al producto y tener siempre en cuenta el lugar geográfico en el cual se implantará dicho proyecto.

Por último, comentar los distintos problemas que se han planteado a lo largo del proyecto. Como primer obstáculo tenemos que, el hecho de tener componentes roscados produce unos residuos que pueden taponar los conductos de la bomba. Es por ello que se ha tenido que realizar un lavado, previo a la sala blanca, a altas presiones e individualizado. Como segundo, el montaje del circlip, al ser una pieza de tamaño muy reducido, se ha diseñado un accesorio para poder realizar su montaje. El problema que presenta es que es un proceso muy lento que aumenta el tiempo de montaje de la bomba. Como tercer y último, cabe resaltar que el hecho de realizar un test funcional incluye revisar cada bomba, una a una. Es por ello, que a modo de no aumentar los tiempos, se ha tenido que poner seis máquinas trabajando a la

vez, reduciendo los tiempos pero por el contrario, aumentando el coste final del proyecto.

## **7. Bibliografía**

### Libros:

- Art Smalley. Creating Level Pull. Cambridge: The Lean Enterprise Institute, Inc., 2004. ISBN 0974322504.
- Dennis P. Hobbs. Lean manufacturing implementation: a complete execution manual for any size manufacturer. Boca Raton; J. Ross: APICS, cop. 2004. ISBN 1932159142.
- Emma Giralt; Bruno Juanes. Sistema de producció Lean Manufacturing. Departament d'Innovació, Universitats i Empresa, Centre d'Innovació i Desenvolupament Empresarial , 2007. B 51804
- Manuel Rejadell Carreras; José Luis Sánchez García. Lean manufacturing : la evidencia de una necesidad. Madrid: Díaz de Santos, DL 2010. ISBN 9788479789671.
- Mike Rother; Rick Harris. Creando flujo continuo. Cambridge: The Lean Enterprise Institute, Inc., 2001. ISBN 1934109045.

### Páginas web:

- Grupo galgano [en línea]: Automatización de la producción [Consulta Junio 2011]. Disponible en:  
<[http://www.galgano.es/lmbinaries/pdf3583\\_pdf.pdf](http://www.galgano.es/lmbinaries/pdf3583_pdf.pdf)>
- Grupo kaizen [en línea]: Que es "Lean Manufacturing" [Consulta: Mayo 2011]. Disponible en:  
<[http://www.grupokaizen.com/mck/Que\\_es\\_el\\_Lean\\_Manufacturing.pdf](http://www.grupokaizen.com/mck/Que_es_el_Lean_Manufacturing.pdf)>
- Janome Global [en línea]. Janome [Consulta: Mayo 2011]. Disponible en:  
<<http://janomeie-europe.net/>>
- Lean [en línea]: What is lean? [Consulta: Mayo de 2011]. Disponible en:  
<<http://www.lean.org/WhatsLean/>>

- Lean-sigma Consultores [en línea]. Lean-sigma [Consulta: Mayo 2011].  
Disponible en:  
<<http://www.lean-sigma.es/sistema-pull-arrastre-para-la-cadena-productiva-2.php>>
- Schunk GMBH & Co. [en línea]. Schunk [Consulta: Mayo 2011].  
Disponibles en: <<http://www.es.schunk.com/>>